



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS NILAI *TOTAL ELECTRON CONTENT*
(TEC) *NEAR REAL TIME* MENGGUNAKAN DATA
GPS DUA FREKUENSI
(Studi Kasus: Surabaya)**

Almas Nandityo Rahadyan
NRP 03311440000017

Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim M.Si

Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini Sengaja Dikosongkan



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS NILAI *TOTAL ELECTRON CONTENT*
(TEC) *NEAR REAL TIME* MENGGUNAKAN DATA
GPS DUA FREKUENSI
(Studi Kasus: Surabaya)**

Almas Nandityo Rahadyan
NRP 03311440000017

Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim M.Si

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini Sengaja Dikosongkan



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

***ANALYSIS VALUE OF TOTAL ELECTRON
CONTENT (TEC) NEAR REAL TIME USING GPS
DUAL FREQUENCY DATA
(Case Study: Surabaya)***

Almas Nandityo Rahadyan
NRP 03311440000017

Advisors
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim M.Si

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering Environmental and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

**ANALISIS NILAI *TOTAL ELECTRON CONTENT* (TEC)
NEAR REAL TIME MENGGUNAKAN DATA GPS DUA
FREKUENSI
(STUDI KASUS: SURABAYA)**

Nama Mahasiswa : Almas Nandityo Rahadyan
NRP : 03311440000017
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK – ITS
Dosen Pembimbing : Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc,
Ph.D
Dr. Buldan Muslim M.Si.

ABSTRAK

Dalam penentuan posisi dengan presisi yang tinggi menggunakan *Global Positioning System* (GPS) terdapat pengaruh kesalahan dan bias, salah satunya adalah *delay* propagasi sinyal yang terdapat pada ionosfer. Ionosfer mengandung elektron yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik berupa tambahan waktu tempuh penjalarannya yang bergantung pada *Total Electron Content* (TEC) di ionosfer dan frekuensi sinyal GPS. Informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah biasanya diwakili oleh karakteristik dari TEC, yang sangat berguna untuk memonitor perubahan nilai elektron pada lapisan ionosfer, menyediakan data kalibrasi bagi pengguna GPS, dan dalam bidang telekomunikasi nilai TEC dapat digunakan untuk mengetahui sintilasi

Pada penelitian ini dilakukan analisis tentang nilai TEC yang berada pada wilayah Surabaya menggunakan data dari pengamatan stasiun CORS GPS milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yaitu stasiun CSBY. Data pengamatan yang digunakan yaitu data GPS dua frekuensi dengan lama pengamatan yaitu selama tujuh hari dari tanggal 7 Februari 2018 hingga 13 Februari 2018. Pola pergerakan TEC selama tujuh hari didapatkan dari penggambaran model berdasarkan perubahan nilai TEC selama 24 jam untuk harian pada wilayah Surabaya. Pola perubahan nilai TEC selama tujuh hari

dapat dilihat dari model VTEC, hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan TEC yang terjadi di ionosfer Surabaya dan sekitarnya. Dengan menggunakan sistem *near real time* pada komputasi nilai TEC, perhitungan nilai TEC harian dapat dilakukan dengan waktu lebih singkat.

Dari penelitian ini didapat pola pergerakan nilai TEC pada pengamatan selama 7 hari, mulai dari hari pertama hingga hari ketujuh mengalami pola yang hampir sama yaitu kenaikan nilai TEC pada siang hari dan penurunan nilai TEC pada malam hari. Nilai TEC maksimum terjadi pada tanggal 13 Februari 2018 jam 14.00 WIB dengan nilai 35,510 TECU. Nilai TEC minimum terjadi pada tanggal 7 Februari 2018 pada jam 05.00 WIB dengan nilai 2,138 TECU. Untuk pola spasial dari nilai TEC pada tanggal 7 Februari 2018 dimulai dari jam 01.00 WIB hingga 11.00 WIB relatif kecil ditunjukkan dengan warna biru pada area Surabaya dan sekitarnya. Kemudian nilai TEC meningkat dari jam 12.00 WIB hingga 17.00 WIB ditunjukkan dengan perubahan warna biru hingga merah pada area Surabaya dan sekitarnya. Dan nilai TEC mengecil kembali pada jam 18.00 WIB ditunjukkan dengan perubahan jingga hingga biru pada area Surabaya dan sekitarnya.

Kata Kunci : Ionosfer, Nilai TEC, Pemodelan TEC.

**ANALYSIS VALUE OF TOTAL ELECTRON CONTENT
(TEC) NEAR REAL TIME USING GPS DUAL FREQUENCY
DATA
(CASE STUDY: SURABAYA)**

Name : Almas Nandityo Rahadyan
NRP : 03311440000017
Department : Teknik Geomatika FTSLK – ITS
Advisors : Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc,
Ph.D
Dr. Buldan Muslim M.Si.

ABSTRACT

In positioning with high precision using Global Positioning System (GPS) there is an effect of error and bias, one of which is signal propagation delay contained in ionosphere. The ionosphere contains electrons that can affect the propagation of electromagnetic waves in the form of additional travel time depending on Total Electron Content (TEC) in the ionosphere and the frequency of GPS signals. Information about the characteristics of the ionosphere in a region is usually represented by the characteristics of the TEC, which is very useful for monitoring changes in the value of electrons in the ionosphere layer, providing calibration data for GPS users, and in the telecommunications field the TEC value can be used to find out the scintillation.

In this research, an analysis of TEC values in the Surabaya area using CORS GPS station observation data from Badan Informasi Geospasial (BIG), that is CSBY station. Observation data used is two-frequency GPS data with observation length that is for seven days, start from February 7th, 2018 to February 13rd, 2018. The seven-day TEC movement pattern is derived from the model depiction based on the 24-hour TEC value change for daily in Surabaya area. The pattern of TEC value for seven days can be seen from TEC model, it is aimed to know the characteristic of TEC

change that happened in Surabaya and its surroundings. By using a near real time system on computing TEC values, the calculation of TEC values can be done in less time.

The results of this study are the pattern of movement of TEC value on observation for 7 days from the first day until the seventh day have almost the same pattern that is the increase of TEC value during the day and the decrease of TEC value at night. Maximum TEC value occurred on the February 13rd, 2018 with value of TEC is 35.510 TECU at 14.00 WIB. Meanwhile, the minimum TEC value occurs on February 7th, 2018 with a value of TEC is 2.138 TECU at 05.00 WIB. For the spatial pattern of the TEC value on February 7, 2018 starting from 01.00 WIB to 11.00 WIB, it is relatively small shown in blue in the Surabaya area and its surroundings. Then the TEC value increased from 12.00 WIB until 17.00 WIB indicated by the blue to red changes in the area of Surabaya and its surroundings. And the TEC value is shrink back at 18.00 WIB shown by the orange changes to the blue area of Surabaya and surrounding areas.

Keywords : Ionosphere, TEC Value, TEC Modelling

**ANALISIS NILAI *TOTAL ELECTRON CONTENT* (TEC)
NEAR REAL TIME MENGGUNAKAN DATA GPS DUA
FREKUENSI
(STUDI KASUS: SURABAYA)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihuan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**ALMAS NANDITYO RAHADYAN
NRP. 03311440000017**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Mokhamad Nur Cahya (Pembimbing I)
ST, M.Sc, Ph.D
NIP. 198112232001000000
2. Dr. Buldan Muslim M.Si (Pembimbing II)
NIP. 1965072619911000000

SURABAYA, AGUSTUS 2018

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat diberi kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Nilai *Total Electron Content* (TEC) *Near Real Time* Menggunakan Data GPS Dua Frekuensi (Studi Kasus: Surabaya)”**.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak.

Penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan serta dukungan yang telah diberikan atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Allah SWT atas diberinya segala kemudahan, kelancaran, rahmat, serta hidayah.
2. Bapak Satriyo W dan Ibu Luluk H selaku orang tua yang selalu memotivasi, mendoakan, memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dhania P dan Ferdian N selaku saudara kandung yang selalu memberi saran dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, MSc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS dan selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, ilmu, kesempatan, dan waktu untuk membantu penulis.
5. Bapak Dr. Buldan Muslim selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, ilmu, kesempatan, dan waktu, untuk membantu serta membuka wawasan lebih terhadap penulis.

6. Instansi BIG yang telah menyediakan data untuk keperluan penelitian serta bimbingan dan sarannya.
7. Seluruh staf pengajar Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan bimbingan dan materi perkuliahan.
8. Seluruh staf Tata Usaha Departemen Teknik Geomatika ITS
9. Teman-teman Teknik Geomatika ITS angkatan 2014 atas bantuan, semangat, dan motivasinya.
10. Serta seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT berkenan membalas semua kebaikan, dukungan dan bantuan yang telah diberikan. Sekalipun Tugas Akhir ini telah selesai, tentunya penulis tidak menutup diri untuk terus melakukan perbaikan yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini atau studi selanjutnya. Karena itu penulis mengharapkan masukan baik kritik, saran, atau informasi yang berguna untuk studi berikutnya.

Demikian ucapan terima kasih ini, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| ABSTRAK | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xix |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Manfaat | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i> | 5 |
| 3.1.1 <i>Satelit Global Positioning System (GPS)</i> | 7 |
| 3.1.2 Sinyal GPS | 8 |
| 2.2 Atmosfer | 12 |
| 2.3 Ionosfer | 14 |
| 2.4 <i>Total Electron Content (TEC)</i> | 17 |
| 2.4.1 Menentukan Nilai STEC dan VTEC | 19 |
| 2.5 TEC Regional Indonesia | 24 |
| 2.6 Penelitian Terdahulu | 25 |

| | |
|--|----|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 27 |
| 3.1 Lokasi Penelitian..... | 27 |
| 3.2 Data dan Peralatan | 28 |
| 3.2.1 Data..... | 28 |
| 3.2.2 Peralatan..... | 28 |
| 3.3 Metodologi Penelitian..... | 29 |
| 3.3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian | 29 |
| 3.3.2 Tahapan Pengolahan | 32 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 35 |
| 4.1 Analisa Nilai <i>Vertical Total Electront</i> <i>Content</i> (VTEC) terhadap Waktu | 35 |
| 4.1.1 Hari ke-1 (7 Februari 2018 atau <i>Days of Year 38</i>)..... | 35 |
| 4.1.2 Hari ke-2 (8 Februari 2018 atau <i>Days of Year 39</i>) | 36 |
| 4.1.3 Hari ke-3 (9 Februari 2018 atau <i>Days of Year 40</i>) | 37 |
| 4.1.4 Hari ke-4 (10 Februari 2018 atau <i>Days of Year 41</i>) | 38 |
| 4.1.5 Hari ke-5 (11 Februari 2018 atau <i>Days of Year 42</i>)..... | 39 |
| 4.1.6 Hari ke-6 (12 Februari 2018 atau <i>Days of Year 42</i>) | 40 |
| 4.1.7 Hari ke-7 (13 Februari 2018 atau <i>(Days of Year 42)</i>)..... | 41 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.2 | Analisa Perubahan Nilai TEC dalam 7 Hari | 42 |
| 4.3 | Analisa Pola Pergerakan TEC..... | 43 |
| 4.3.1 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 01.00 WIB (18 UT) | 43 |
| 4.3.2 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 02.00 WIB (19 UT) | 44 |
| 4.3.3 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 03.00 WIB (20 UT) | 45 |
| 4.3.4 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 04.00 WIB (21 UT) | 46 |
| 4.3.5 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 05.00 WIB (22 UT) | 47 |
| 4.3.6 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 06.00 WIB (23 UT) | 48 |
| 4.3.7 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 07.00 WIB (24 UT) | 49 |
| 4.3.8 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 08.00 WIB (1 UT) | 50 |
| 4.3.9 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 09.00 WIB (2 UT) | 51 |
| 4.3.10 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 10.00 WIB (3 UT) | 52 |
| 4.3.11 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 11.00 WIB (4 UT) | 53 |
| 4.3.12 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 12.00 WIB (5 UT) | 54 |
| 4.3.13 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 13.00 WIB (6 UT) | 55 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| 4.3.14 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 14.00 WIB (7 UT)..... | 56 |
| 4.3.15 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 15.00 WIB (8 UT)..... | 57 |
| 4.3.16 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 16.00 WIB (9 UT)..... | 58 |
| 4.3.17 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 17.00 WIB (10 UT)..... | 59 |
| 4.3.18 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 18.00 WIB (11 UT)..... | 60 |
| 4.3.19 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 19.00 WIB (12 UT)..... | 61 |
| 4.3.20 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 20.00 WIB (13 UT)..... | 62 |
| 4.3.21 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 21.00 WIB (14 UT)..... | 63 |
| 4.3.22 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 22.00 WIB (15 UT)..... | 64 |
| 4.3.23 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 23.00 WIB (16 UT)..... | 65 |
| 4.3.24 | Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 24.00 (17 UT)..... | 66 |
| BAB V PENUTUP | | 67 |
| 5.1 | Kesimpulan | 67 |
| 5.2 | Saran | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 69 |

| | |
|----------------------|-----|
| LAMPIRAN..... | 73 |
| BIODATA PENULIS..... | 149 |

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Segmen utama GPS | 8 |
| Gambar 2. 2 Prinsip penentuan jarak (<i>Pseudorange</i>)..... | 10 |
| Gambar 2. 3 Format pesan navigasi GPS | 11 |
| Gambar 2. 4 Lapisan Atmosfer berdasarkan Ketinggian | 13 |
| Gambar 2. 5 Pembagian pada Lapisan Ionosfer | 14 |
| Gambar 2. 6 Pengertian VTEC (<i>Vertical Total Elektron Content</i>) dan STEC (<i>Slant Total Elektron Content</i>) | 17 |
| Gambar 2. 7 Geometri model ionosfer lapisan tunggal..... | 22 |
| Gambar 2. 8 Kondisi Ionosfer Regional Indonesia jam 13.00 WIB..... | 24 |
| Gambar 3. 1 Lokasi Stasiun CORS-GPS | 27 |
| Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan | 29 |
| Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data..... | 32 |
| Gambar 4. 1 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Pertama | 35 |
| Gambar 4. 2 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Kedua..... | 36 |
| Gambar 4. 3 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Ketiga..... | 37 |
| Gambar 4. 4 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Keempat..... | 38 |
| Gambar 4. 5 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Kelima | 39 |
| Gambar 4. 6 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Keenam..... | 40 |
| Gambar 4. 7 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Ketujuh | 41 |
| Gambar 4. 8 Perubahan Nilai VTEC dalam 7 Hari | 42 |
| Gambar 4. 9 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 01.00 WIB (18 UT) | 43 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 10 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 02.00 WIB (19 UT)..... | 44 |
| Gambar 4. 11 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 03.00 WIB (20 UT)..... | 45 |
| Gambar 4. 12 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 04.00 WIB (21 UT)..... | 46 |
| Gambar 4. 13 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 05.00 WIB (22 UT)..... | 47 |
| Gambar 4. 14 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 06.00 WIB (23 UT)..... | 48 |
| Gambar 4. 15 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 07.00 WIB (24 UT)..... | 49 |
| Gambar 4. 16 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 08.00 WIB (1 UT)..... | 50 |
| Gambar 4. 17 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 09.00 WIB (2 UT)..... | 51 |
| Gambar 4. 18 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 10.00 WIB (3 UT)..... | 52 |
| Gambar 4. 19 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 11.00 WIB (4 UT)..... | 53 |
| Gambar 4. 20 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 12.00 WIB (5 UT)..... | 54 |
| Gambar 4. 21 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 13.00 WIB (6 UT)..... | 55 |
| Gambar 4. 22 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 14.00 WIB (7 UT)..... | 56 |
| Gambar 4. 23 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 15.00 WIB (8 UT)..... | 57 |
| Gambar 4. 24 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 16.00 WIB (9 UT)..... | 58 |
| Gambar 4. 25 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 17.00 WIB (10 UT)..... | 59 |
| Gambar 4. 26 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 18.00 WIB | |

| | |
|---|----|
| (11 UT)..... | 60 |
| Gambar 4. 27 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 19.00 WIB | |
| (12 UT)..... | 61 |
| Gambar 4. 28 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 20.00 WIB | |
| (13 UT)..... | 62 |
| Gambar 4. 29 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 21.00 WIB | |
| (14 UT)..... | 63 |
| Gambar 4. 30 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 22.00 WIB | |
| (15 UT)..... | 64 |
| Gambar 4. 31 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 23.00 WIB | |
| (16 UT)..... | 65 |
| Gambar 4. 32 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 24.00 | |
| (17 UT)..... | 66 |

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 1 Nilai VTEC pada Hari ke-1 | 36 |
| Tabel 4. 2 Nilai VTEC pada Hari ke-2..... | 36 |
| Tabel 4. 3 Nilai VTEC pada Hari ke-3..... | 37 |
| Tabel 4. 4 Nilai VTEC pada Hari ke-4..... | 38 |
| Tabel 4. 5 Nilai VTEC pada Hari ke-5..... | 39 |
| Tabel 4. 5 Nilai VTEC pada Hari ke-6..... | 40 |
| Tabel 4. 5 Nilai VTEC pada Hari ke-7..... | 41 |

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Global Positioning System (GPS) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Posisi penerima GPS dihitung dengan mengukur jarak antara satu atau lebih satelit GPS. Perangkat GPS secara terus-menerus menerima dan menganalisis sinyal radio dari satelit, menghitung jarak yang tepat untuk setiap satelit yang dilacak (Maddison, 2009). Sistem ini memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi yang teliti serta informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh dunia.

Dalam penentuan posisi dengan presisi yang tinggi menggunakan *Global Positioning System* (GPS) terdapat pengaruh kesalahan dan bias, salah satunya adalah *delay* propagasi sinyal yang terdapat pada ionosfer. Ionosfer merupakan sumber penting dari jarak dan nilai kesalahan rentang untuk pengguna *Global Positioning System* (GPS) yang membutuhkan pengukuran akurasi tinggi. Terkadang berbagai kesalahan troposfer dan ionosfer dapat dibandingkan, tetapi variabilitas ionosfer bumi jauh lebih besar daripada troposfer, dan itu lebih sulit untuk dimodelkan. Kesalahan rentang ionosfer dapat bervariasi dari beberapa meter hingga puluhan meter pada zenith (Spilker et al., 2016). Sinyal dari satelit GPS harus melalui lapisan ionosfer untuk sampai ke antena di permukaan bumi. Dalam hal ini ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal GPS.

Ionosfer adalah bagian dari lapisan atmosfer yang terletak antara 50 sampai 1000 km diatas permukaan bumi. Ionosfer mengandung elektron yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik berupa tambahan waktu tempuh dalam penjalaran sinyal, hal ini bergantung pada *Total Electron Content* (TEC) di ionosfer dan frekuensi sinyal GPS (Muslim,

2009). TEC merupakan jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas 1m^2 sepanjang lintasan sinyal dalam lapisan ionosfer. Informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah biasanya diwakili oleh karakteristik dari TEC, yang sangat berguna untuk memonitor perubahan nilai elektron pada lapisan ionosfer, menyediakan data kalibrasi bagi pengguna GPS, dan dalam bidang telekomunikasi nilai TEC dapat digunakan untuk mengetahui sintilasi yaitu gejala menurunnya intensitas gelombang radio setelah melalui ionosfer berupa fluktuasi amplitudo dan fase yang cepat akibat ketidakaturan lapisan ionosfer (Rizal et al., 2009).

Indonesia berada pada lintang rendah dimana ionosfer yang membentang diatas wilayah kita memiliki keunikan karena ionosfer wilayah Indonesia terletak di puncak anomali ionisasi lintang rendah dan berada di atas kepulauan yang merupakan daerah konveksi paling aktif di dunia (Fukao, 2004). Oleh karena itu ionosfer di atas Indonesia lebih bervariasi baik secara spasial maupun temporal sehingga pemodelan klimatologi global tidak dapat mengkarakterisasikan ionosfer Indonesia dengan akurat. Maka koreksi ionosfer lebih akurat dengan menggunakan pengamatan GPS frekuensi ganda real time

Untuk memperoleh koreksi ionosfer ini diperlukan data TEC yang real time dan metode untuk menentukan koreksi TEC tersebut. Metode-metode yang biasa digunakan antara lain model tomografi ionosfer dua dimensi *real time* dan teknik resolusi ambiguitas. Model tomografi ionosfer dua dimensi real time dapat memberikan presisi lebih baik dari 1 TECU (10 cm pada L1-L2) dalam perbedaan ganda (*double difference*) *Slant Total Electron Content* (STEC) (Hernandez-Pajares, 1999) dalam (Muslim, 2009), sedangkan teknik resolusi ambiguitas telah memungkinkan peningkatan akurasi DGPS dari level meter ke desimeter (Gao et al., 1997).

Dalam penelitian yang akan dilakukan ini adalah analisis nilai TEC ionosfer di Surabaya secara *near real time* dengan metode komputasi TEC harian dari data GPS. Hal ini dilakukan untuk memberi informasi karakteristik TEC di Surabaya secara *near real time*. Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data GNSS dari stasiun CORS (Continuously Operating Reference Station) milik Badan Informasi Geospasial yang berada pada wilayah Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana perubahan nilai TEC pada lapisan ionosfer di Surabaya secara *near real time* ?
2. Bagaimana analisa perubahan nilai TEC pada lapisan ionosfer di Surabaya secara *near real time* ?
3. Bagaimana mengetahui pergerakan nilai TEC secara spasial pada lapisan ionosfer Surabaya dan sekitarnya?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran GPS dua frekuensi.
2. Penelitian ini menggunakan data pengamatan CORS GNSS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang direkam pada stasiun receiver di Surabaya yaitu CSBY.
3. Penelitian ini melakukan penentuan nilai TEC secara *near real time* di Surabaya.
4. Penelitian hanya mencakup penentuan, analisa dari perubahan nilai TEC pada lapisan ionosfer di Surabaya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui besar perubahan nilai TEC secara *near real time* pada lapisan ionosfer di Surabaya.

2. Untuk mengetahui karakteristik perubahan nilai TEC pada lapisan ionosfer di Surabaya.
3. Untuk mengetahui pergerakan nilai TEC secara spasial pada lapisan ionosfer Surabaya dan sekitarnya.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat memonitor perubahan nilai elektron secara *near real time* pada lapisan ionosfer Surabaya
2. Dapat mengetahui pergerakan nilai TEC secara spasial pada lapisan ionosfer Surabaya dan sekitarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Global Navigation Satellite System (GNSS)*

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan suatu istilah yang digunakan untuk mencakup seluruh sistem satelit navigasi global yang sudah beroperasi ataupun sedang dalam perencanaan. Satelit navigasi mempunyai kemampuan untuk memberikan informasi tentang posisi lokasi geografis dan sinkronisasi waktu dalam penggunaan sinyal real time dari satelit navigasi yang mengorbit. Posisi yang ditentukan terdiri dari 4 (empat) dimensi yaitu garis bujur, garis lintang, ketinggian, dan waktu (Borton, 2010) dalam (Bakara, 2011). Satelit navigasi juga digunakan dalam berbagai sektor yaitu penelitian/*survey*, *precision farming*/ketelitian dalam pertanian, mendukung pencarian dan penyelamatan, ilmu kebumihan, manajemen transportasi, pergantian waktu yang tepat, manajemen/ pelacakan/anti pencurian. Sistem GNSS terus berkembang dan kemudian juga digunakan dalam berbagai sektor, seperti pengangkutan, keamanan, pengawasan, dan industri.

Sistem satelit navigasi GPS (*Global Positioning System*) milik negara Amerika Serikat merupakan yang paling terkenal dan saat telah beroperasi penuh. Satelit GPS pertama kali diluncurkan pada tahun 1978 dan konfigurasinya selesai pada tahun 1994. Sampai dengan bulan Mei 2012 ada 31 satelit GPS yang mengorbit dan dalam kondisi baik. Walaupun demikian, sinyal-sinyal yang ditransmisikan oleh satelit GNSS tersebut masih memiliki kesalahan dan tidak selalu sesuai dengan kenyataan yang ada. Sehingga harus dilakukan monitoring dari akurasi, ketersediaan, kontinuitas, dan integritas dari sinyal-sinyal tersebut menggunakan titik-titik referensi yang terdapat di permukaan bumi.

Sistem satelit navigasi lainnya yang cukup menjajikan untuk digunakan adalah sistem milik Rusia yang bernama GLONASS

(*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Seperti halnya GPS, GLONASS pun didesain untuk dapat memberikan posisi, kecepatan, dan waktu, dimana saja permukaan bumi ini pada setiap saat dan waktu tanpa bergantung cuaca. Prinsip penentuan posisi menggunakan sistem-sistem ini juga pada dasarnya sama, yaitu dengan mengukur jarak ke beberapa satelit sekaligus.

Sistem GLONASS ini mulai dibangun sejak tahun 1970-an, meskipun secara resmi baru diumumkan oleh Uni Soviet pada Februari 1982. Satelit GLONASS yang pertama diluncurkan pada 12 Oktober 1982, dan sampai dengan Agustus 2000, ada 9 satelit GLONASS yang operasional secara penuh dan 4 satelit dinyatakan tidak sehat. Seperti halnya GPS, sistem GLONASS ini didesain untuk operasional dengan 24 satelit

Pada saat konstelasi satelit GLONASS lengkap, maka kita akan mempunyai 48 satelit navigasi di angkasa kita (24 satelit GPS dan 24 satelit GLONASS). Dengan 48 satelit ini, jumlah satelit yang dapat teramati akan menjadi lebih banyak, geometri satelit akan menjadi lebih baik dan lebih kuat, dan ketelitian dari parameter yang diestimasi (baik itu posisi, kecepatan, percepatan, maupun waktu) akan menjadi lebih baik. Dengan kata lain, navigasi dan penentuan posisi yang bersifat global, andal, dan akurat akan menjadi lebih mudah untuk direalisasi.

Teknologi GNSS ini dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi seperti penentuan posisi akurat, survei & pemetaan, dan berbagai macam aplikasi lainnya. Industri survei dan pemetaan telah mengalami revolusi dengan penggunaan GNSS yang menggunakan teknologi satelit, dimana sebagai referensi dalam pengukuran, digunakan receiver GNSS yang dapat mendukung berbagai macam aplikasi penentuan posisi baik itu untuk ketelitian tinggi seperti pemantauan lempeng tektonik, survei deformasi, pemantauan gempa bumi, pemodelan ionosfer dan troposfer maupun aplikasi – aplikasi praktis seperti navigasi. Banyaknya

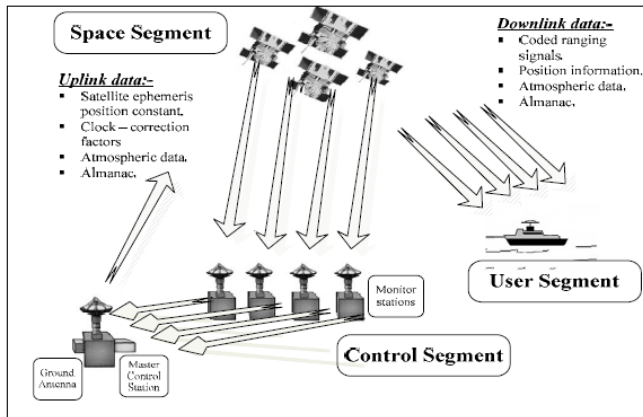
berbagai macam aplikasi penentuan posisi yang menggunakan receiver GNSS sebagai referensi membuat stasiun referensi permanen atau disebut CORS (*Continuously Operating Reference Station*). Sistem CORS ini digunakan untuk berbagai macam aplikasi berbasis GNSS seperti *Network RTK*, *Differential GPS* maupun *post-processing positioning*.

3.1.1 Satelit *Global Positioning System* (GPS)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem navigasi satelit dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Negara Amerika Serikat. GPS juga biasa disebut NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). Sistem ini memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu secara kontinyu tanpa bergantung pada waktu (&) dan cuaca.

Satelit GPS mempunyai tiga segmen yaitu satelit, pengontrol, dan penerima atau pengguna. Segmen satelit bertugas untuk menerima dan menyimpan data yang ditransmisikan oleh stasiun-stasiun pengontrol, menyimpan dan menjaga informasi waktu berketelitian tinggi (ditentukan dengan jam atomic di satelit), dan memancarkan sinyal dan informasi secara kontinyu ke pesawat penerima dari pengguna. Pengontrol bertugas untuk mengendalikan dan mengontrol satelit dari bumi baik untuk mengecek kesehatan satelit, penentuan dan prediksi orbit dan waktu, sinkronisasi waktu antar satelit, dan mengirim data ke satelit. Penerima bertugas menerima data dari satelit dan memprosesnya untuk menentukan (posisi tiga dimensi yaitu

koordinat di bumi ditambahkan dengan ketinggian), arah, jarak dan waktu yang diperlukan oleh pengguna.



Gambar 2. 1 Segmen utama GPS
(Sumber: Aerospace Corporation, 2003)

GPS menyediakan penentuan posisi secara terus-menerus dan informasi waktu, dimana saja di dunia dan di bawah semua kondisi cuaca. Karena, hal itu berfungsi pada pengguna dengan jumlah tidak terbatas serta digunakan untuk alasan keamanan, GPS adalah sistem *one-way-ranging* (pasif). Dalam hal ini, pengguna hanya dapat menerima sistem, komponen, dan ide dasar

3.1.2 Sinyal GPS

Untuk memberikan informasi, GPS memberikan sinyal-sinyal tentang posisi satelit maupun si pengamat, waktu, jarak melalui transmisinya ke bumi. Sinyal GPS juga digunakan untuk menginformasikan kelayakgunaan (kesehatan) satelit kepada si pengamat, serta informasi pendukung lainnya seperti parameter untuk perhitungan koreksi jam satelit, parameter model ionosfer satu frekuensi (model Klobluchar), transformasi waktu GPS ke UTC

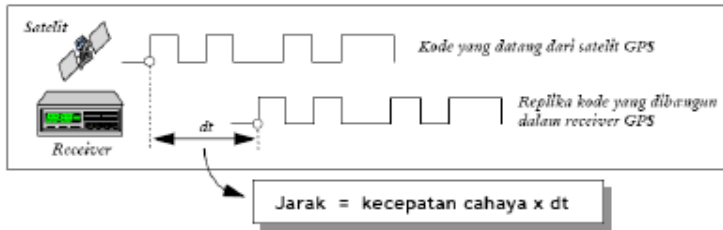
(*Universal Time Coordinate*), dan status konstelasi satelit (Abidin, 2006).

Pada dasarnya sinyal GPS dapat dibagi menjadi tiga komponen yaitu :

a. Penginformasian jarak (kode)

Ada dua kode *pseudo-random noise* (PRN) yang dikirimkan oleh satelit GPS dan digunakan sebagai penginformasian jarak, yaitu kode-P (P = *Precise* atau *Private*) dan kode-C/A (C/A = *Coarse Aquisition* atau *Clear Access*).

Kode – C/A merupakan rangkaian dari 1023 bilangan biner yang berulang setiap satu milidetik (msec) dan sekitar 300 meter dalam unit jarak. Pada kode C/A hanya dimodulasikan pada gelombang pembawa L1. Kode –P merupakan rangkaian bilangan biner yang sangat panjang, yaitu $2,3547 \times 10^{14}$. Kode –P tersebut dibentuk dengan kecepatan 10 kali lebih cepat dibandingkan dengan kode C/A, yaitu 10,23 juta chips per detik. Sehingga untuk kode –P mempunyai panjang gelombang sekitar 30 meter. Kode –P dimodulasikan pada kedua gelombang pembawa L1 dan L2. Prinsip pengukuran jarak yang digunakan adalah dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dengan kode replika yang diformulasikan di dalam receiver, seperti yang digambarkan berikut ini.



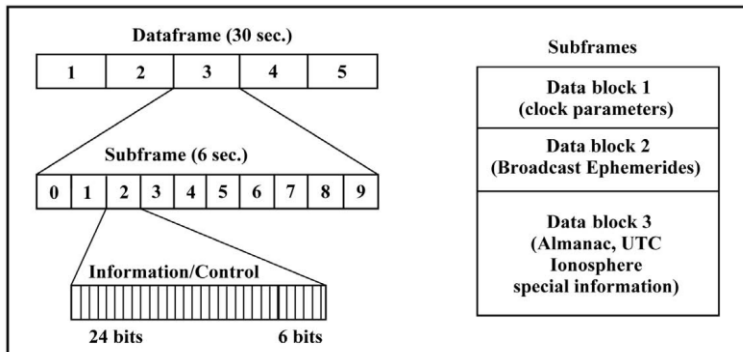
Gambar 2. 2 Prinsip penentuan jarak (Pseudorange) dengan kode
(Sumber: Abidin, 2006)

Waktu yang diperlukan untuk ‘mengimpitkan’ kedua kode adalah waktu yang diperlukan oleh kode tersebut untuk menempuh jarak dari satelit ke pengamat, sehingga dengan mengalikan data dengan kecepatan cahaya maka jarak antar pengamat dengan satelit dapat ditentukan. Receiver GPS menggunakan jam quartz sehingga ketidaksinkronan dengan jam oleh satelit GPS yaitu menggunakan jam atom. Hal ini akan mengakibatkan kesalahan, sehingga jarak ukuran umum dinamakan jarak semu atau pseudorange.

b. Penginformasian posisi satelit (*navigation message*)

Pesan navigasi (*navigation message*) berisi tentang koefisien koreksi jam satelit parameter orbit, alamanak satelit, UTC, parameter koreksi ionosfer, serta informasi special lainnya seperti status konstelasi dan kesehatan satelit. Pesan navigasi tersebut ditentukan oleh segmen sistem kontrol dan dikirimkan (*broadcast*) ke pengguna menggunakan satelit GPS. Salah satu informasi yang terkandung dalam pesan navigasi GPS adalah *ephemeris* (orbit) satelit yang biasa disebut *broadcast ephemeris*.

Struktur pesan navigasi GPS dapat dijelaskan pada gambar dibawah.



Gambar 2. 3 Format pesan navigasi GPS
(Sumber: Seeber, 2003)

Broadcast ephemeris ditentukan oleh sistem kontrol GPS dalam dua tahap (Seeber, 2003). Pada tahap pertama, *ephemeris* referensi ditentukan berdasarkan data pengamatan GPS (*Pseudorange* dan fase) selama 7 hari dari semua stasiun monitor (proses *offline*), dengan menggunakan program perhitungan orbit. Pada tahap kedua yang merupakan proses *online*, perbedaan - perbedaan antara hasil pengamatan yang terbaru dari stasiun monitor dengan *ephemeris* referensi diturunkan, dan kemudian diproses dengan menggunakan kode kalman filtering untuk memprediksi besarnya koreksi – koreksi bagi *ephemeris* referensi.

c. Gelombang pembawa (*carrier wave*) L1 dan L2.

Gelombang pembawa pada GPS yaitu L1 dan L2. Gelombang L1 membawa kode-kode P(Y) dan C/A beserta pesan navigasi, sedangkan gelombang L2 membawa kode P(Y) dan pesan navigasi. Agar gelombang pembawa dapat ‘membawa’ data kode dan pesan navigasi, maka data

tersebut harus ditumpangkan ke gelombang pembawa. Dengan kata lain, gelombang pembawa dimodulasikan oleh kode dan pesan navigasi. Proses pemodulasian sinyal GPS melalui dua tahap yaitu *binary-to-binary modification of code* dan tahap *binary biphase modulation*. Pada tahap pertama, pesan navigasi ditumpangkan ke kode $-P(Y)$ dan kode C/A. Sedangkan pada tahap kedua, masing – masing kode telah ‘membawa’ pesan navigasi ditumpangkan ke gelombang pembawa L1 dan L2

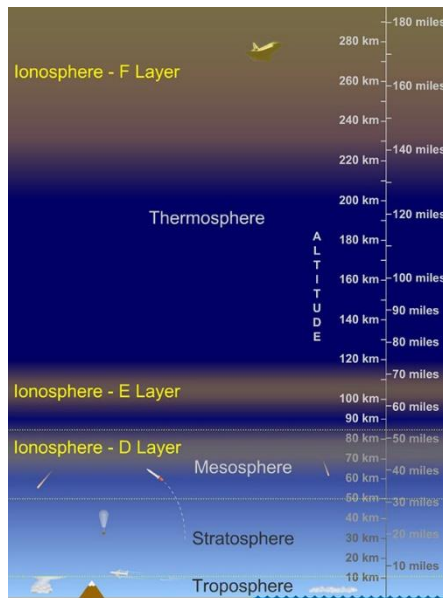
2.2 Atmosfer

Atmosfer bumi adalah campuran gas yang secara kimia-fisika relatif homogen pada setiap stratanya, yang membungkus permukaan bumi, dan tetap bertahan karena gravitasi bumi. Dibandingkan dengan diameter bumi (sekitar 12.00 WIB0 km), atmosfer merupakan lapisan tipis (ketebalan 200-500 km) larutan udara sangat mudah dikompresi maupun diekspansi, dan mengelilingi bumi. Karena pengaruh gravitasi bumi, maka sebagian besar gas-gas penyusun atmosfer terkompresi di bagian bawah dekat permukaan bumi. Makin jauh jarak dari permukaan bumi, maka makin renggang struktur gas-gas penyusun atmosfer, sehingga densitas dan tekanan udara akan semakin rendah. Dalam hal ini, atmosfer bumi dibagi menjadi 4 lapisan utama. Keempat lapisan utama tersebut adalah:

- **Troposfer**, berada dalam ketinggian dari permukaan bumi sampai ketinggian rata-rata 11 km, temperature rata-rata 15 °C dipermukaan laut menurun dengan bertambahnya ketinggian sampai kira-kira -56 oC di bagian atas (tropopause),
- **Stratosfer**, dari ketinggian rata-rata 11 km sampai kira-kira 50 km, temperature rata-rata naik dari -56 °C sampai -2 °C di bagian atas (stratopause), kenaikan

temperature ini utamanya karena penyerapan radiasi ultraviolet oleh ozon di atmosfer,

- **Mesosfer**, lapisan diatas stratosfer (50 km) sampai dalam ketinggian rata-rata 85 km , profil temperatur sama dengan troposfer, menurun dengan bertambahnya ketinggian, dari -2 °C sampai sekitar -92 °C di bagian lapisan paling atas (mesopause).
- **Termosfer**, merupakan lapisan yang paling tinggi dari atmosfer mulai 85 km sampai dengan rata-rata 500 km, berisi lapisan gas dengan kerapatan rendah, profil temperatur naik sampai 1200 °C, kenaikan ini utamanya karena penyerapan radiasi dengan panjang gelombang < 200 nm oleh spesies gas-gas penyusun termosfer.

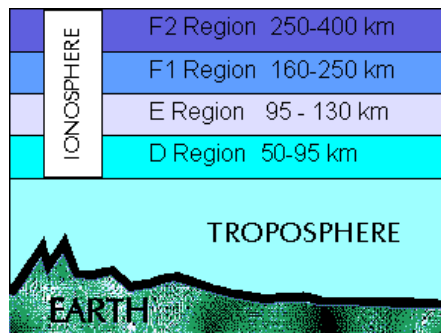


Gambar 2. 4 Lapisan Atmosfer berdasarkan Ketinggian
(Sumber: UCAR Center for Science Education)

2.3 Ionosfer

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron dan ion bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Lapisan ionosfer terletak kira-kira antara 60 sampai 1000 km di atas permukaan bumi. Jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ion-ion ini bergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas pada lapisan tersebut (Davies, 1990). Disamping itu struktur vertikal densitas elektron dalam ionosfer juga berubah secara kontinyu. Struktur ini juga variatif terhadap waktu, musim, dan lintang setempat (Abidin, 2006).

Keberadaan lapisan ini penting dalam komunikasi dan aplikasi teknologi yang menggunakan gelombang elektromagnetik, karena atmosfer mampu memantulkan gelombang pendek pada rentang frekuensi tertentu. Lapisan ionosfer terbentuk akibat sinar ultraviolet dari matahari mengenai atom-atom netral di lapisan atas atmosfer bumi. Energi dari ultraviolet ekstrim ini cukup untuk mengionisasi atom-atom netral tersebut, sehingga terbentuk ion-ion (Taufiqurrahman, 2010).



Gambar 2. 5 Pembagian pada Lapisan Ionosfer
(Sumber: Mc. Namara 1994)

Secara umum berdasarkan membesarnya ketinggian dan densitas elektron, lapisan ionosfer dapat dikategorikan menjadi 4 lapisan. Lapisan-lapisan tersebut yaitu

a. Lapisan D

Lapisan ionosfer yang paling bawah terentang antara ketinggian 60 km sampai 90 km, dan karena jaraknya relatif yang paling jauh dari matahari, maka ionisasi pada lapisan ini adalah yang terkecil dibandingkan lapisan - lapisan lainnya. Densitas electron di lapisan D secara normal tidak mempunyai batasan yang jelas Densitas elektron tertinggi terjadi di sekitar ditemukan diketinggian 60-70 km. Pada ketinggian tersebut, penyebab ionisasi utama adalah radiasi kosmik yang dipengaruhi oleh medan magnet bumi. Karena itu konsentrasi elektron di lapisan ini bertambah besar ke arah kutub. Pada , elektron bergabung dengan molekul sehingga jumlah elektron bebas menjadi sangat kecil. Karena itu lapisan ini memiliki elektron yang kecil pada .

b. Lapisan E

Lapisan E yang kadang dinamakan lapisan Kennely – Heaviside, yang terentang pada ketinggian 85 km sampai 140 km. Dengan densitas elektron maksimum diketinggian sekitar 100 km yang dibentuk oleh ionisasi atom oksigen disebabkan radiasi ultra violet matahari, dengan densitas elektron maksimum terjadi di . Dan untuk , kandungan elektron yang berada pada lapisan ini bernilai kecil.

c. Lapisan F1

Lapisan tertinggi ionosfer adalah lapisan F yang berada pada ketinggian 140 km sampai 200 km

menunjukkan variasi yang berbeda dibandingkan bagian di atasnya, sehingga lapisan ini dibagi menjadi lapisan F1 dan F2. Densitas lapisan F1 mencapai maksimum pada ketinggian 160 km sampai 180 km terjadi satu jam setelah. Pada F1 dan F2 bergabung menjadi lapisan F.

d. Lapisan F2

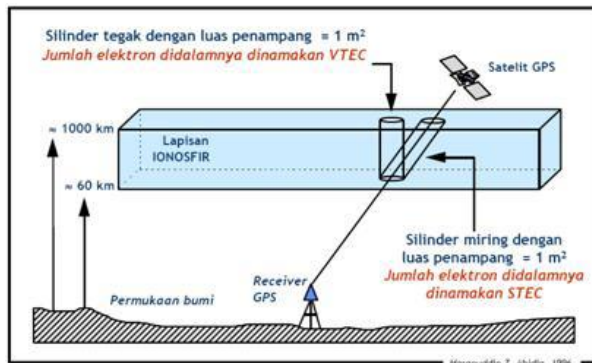
Lapisan F2 merupakan lapisan terluar pada lapisan ionosfer yang mendapatkan pengaruh energi matahari yang terbesar daripada lapisan yang lain. Pada dan juga terkadang pada, densitas elektron terbesar terletak kira-kira pada ketinggian 250 km sampai 500 km atau lebih. Hal ini karena letaknya yang tinggi dan mendapatkan energi cahaya matahari yang besar pada saat setelah beberapa terbenamnya matahari.

Lapisan-lapisan ionosfer dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5 terjadi karena beberapa faktor. Postulasi tersebut dibuat berdasarkan (Abidin, 2006) yaitu sebagai berikut:

1. Spektrum radiasi matahari menyimpan energinya pada beberapa ketinggian bergantung pada karakteristik penyerapan dari lapisan atmosfer.
2. Proses fisika dari rekombinasi ion bergantung pada densitas atmosfer yang bervariasi dengan ketinggian.
3. Komposisi dari atmosfer berubah dengan ketinggian.

2.4 *Total Electron Content (TEC)*

TEC adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas 1 m^2 sepanjang lintasan sinyal dalam lapisan ionosfer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. TEC per definisi secara lebih spesifik dinamakan *Slant TEC (STEC)*. Disamping STEC, dikenal juga istilah Vertikal TEC (VTEC), yang merepresentasikan TEC dalam arah vertikal. Nilai TEC biasanya dinyatakan dalam TECU, dimana 1 TECU adalah sama dengan 10^{16} elektron/ m^2 . Nilai TEC ionosfer pada umumnya berkisar antara 1 sampai 200 TECU (Abidin, 2006).



Gambar 2. 6 Pengertian VTEC (*Vertical Total Elektron Content*) dan STEC (*Slant Total Elektron Content*)
(Sumber: Abidin, 2006)

Kecepatan perambatan gelombang pada titik-titik di ionosfer adalah ditentukan oleh densitas elektron di titik-titik tersebut. Makin besar densitas elektron makin tinggi kecepatan perambatannya. Densitas elektron diukur dengan menghitung jumlah elektron di suatu kolom vertikal maupun *slant* setinggi 1 m di ionosfer dengan penampang melintang seluas 1 m^2 . Jumlah densitas elektron di suatu kolom vertikal maupun *slant* sepanjang lintasan sinyal dari pembangkit sinyal dengan penampang melintang seluas 1 m^2 atau sebagai integral vertikal dari densitas elektron N_e .

Dibandingkan dengan teknologi – teknologi yang lain yang telah digunakan, misalnya: Radiosonde, Teknologi GPS memiliki potensi besar untuk menentukan nilai TEC terutama untuk wilayah yang cukup luas dan banyak tertutup air seperti Indonesia (Abidin, 1995) dalam (Abidin, 2006). Disamping itu, karena GPS dapat dimanfaatkan secara kontinu tanpa tergantung waktu, tempat dan cuaca, maka penentuan TEC dengan GPS dapat dilakukan secara intensif, mudah, efisien, juga ekonomis

Pemodelan TEC banyak dilakukan dengan beberapa teknik, diantaranya adalah *spherical harmonics*, *broadcasting ionospheric model* dan *polynomial*. Berdasarkan penelitian (Heki, 2011) menjelaskan bahwa anomali TEC dapat dilihat dari *fitting line* pada perhitungan TEC, grafik naik dan turun yang tidak beraturan merupakan nilai fluktuasi TEC. Sedangkan menurut (Muslim, 2009) anomali ionosfer dapat diukur dari simpangannya terhadap nilai TEC kondisi normal. Kondisi normal sebagai referensi dapat ditentukan dari nilai median 27 hari pada tiap jam nilai TEC. Ukuran gangguan ini dapat dihitung dari simpangan TEC pada hari dan jam tertentu terhadap nilai median TEC tersebut, kemudian dijadikan dalam persen dengan membaginya dengan nilai mediannya. Kondisi ionosfer dapat dikelompokkan menjadi 4 kondisi: tenang, moderat, badai, dan badai intensif. Pengelompokan ini bisa diukur dengan nilai logaritma perbandingan TEC dengan nilai mediannya.

Aktivitas matahari adalah sumber utama dari perubahan kondisi cuaca antariksa. Data dan pengamatan matahari menunjukkan adanya siklus 11 tahun aktivitas matahari. Pada siklus maksimum, evolusi bintik matahari (SSN, *sunspot number*) meningkat dengan diikuti adanya badai matahari dengan ditandai terjadinya flare dan CME.

Badai matahari terbentuk karena terjadinya gejolak di atmosfer yang dipicu terbentuknya bintik hitam (sunspot). Kondisi tersebut memicu solar flare dan CME atau terlontarnya materi matahari yang juga mencapai bumi. Aktivitas matahari dapat menyebabkan gangguan di lingkungan bumi, salah satu bentuk gangguan tersebut adalah munculnya badai geomagnet. Badai geomagnetik yang ditandai dengan indeks gangguan Dst (Disturbance Storm Time index) turun melebihi -100 nanotesla akan mendorong penetrasi medan listrik ke dalam ionosfer lintang rendah equatorial dan indeks Kp. Akibat adanya badai matahari dan gangguan geomagnet ini, ionosfer, terutama lapisan F2, mengalami gangguan yang cukup besar.

Aspek terpenting saat siklus maksimum matahari adalah rerata peningkatan ultra violet. Peningkatan ultra violet berdampak langsung pada proses ionisasi dan pemanasan termosfer dimana kerapatan ionosfer akan dipengaruhi saat aktivitas maksimum matahari, sehingga sinyal GPS akan sangat dipengaruhi oleh saat aktivitas matahari maksimum.

2.4.1 Menentukan Nilai STEC dan VTEC

Penentuan nilai TEC (VTEC maupun STEC) dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan dengan jarak ukuran (pseudorange maupun fase) pada dua frekuensi yang berbeda. Karena besarnya bias jarak ionosfer tergantung pada frekuensi, maka dengan membandingkan kedua jarak ukuran tersebut, dengan menggunakan formulasi matematik tertentu, nilai VTEC maupun STEC dapat ditentukan. Perlu ditekankan bahwa karena satelit GPS bergerak dalam orbitnya, maka secara teoritis yang dihitung dari pengamatan GPS pada dasarnya adalah nilai TEC pada titik – titik ionosfer (titik perpotongan sinyal dengan lapisan bawah ionosfer) atau

yang disebut *Ionosphere Pierce Point* (IPP) yang umumnya berbeda dengan titik lokasi antenna GPS.

Seandainya digunakan data *pseudorange* pada dua frekuensi P1 dan P2 maka nilai TEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut:

$$STEC = \frac{(P_1 - P_2) + (MP_1 - MP_2) - (vP_1 - vP_2)}{40.28 \cdot \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2}\right)} \quad (2.1)$$

Dalam penentuan STEC dengan menggunakan data *pseudorange* dua frekuensi, efek kesalahan *multipath* dengan notasi M dan *noise* dengan notasi v pada data pengamatan umumnya diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *smoothing* dan *filtering*. Sehingga rumus diatas umumnya disederhanakan menjadi berikut :

$$STEC = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot (P_1 - P_2) \quad (2.2)$$

Dalam kasus menggunakan data jarak fase pada dua frekuensi, L1 dan L2, maka seandainya efek kesalahan *multipath* dan *noise* pada data pengamatan diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *smoothing* dan *filtering*, maka nilai STEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut (Denaro 2015):

$$STEC = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot [(L_1 - L_2) + (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2)] \quad (2.3)$$

Dimana bilangan ambiguitas fase sinyal L1 dan L2 yaitu N1 dan N2 adalah bilangan yang tidak diketahui nilainya. Untuk dapat menentukan nilai STEC dari data

fase dari suatu epok tertentu, maka nilai ambiguitas fase tersebut harus ditentukan terlebih dahulu. Namun perlu ditekankan bahwa menentukan ambiguitas fase secara benar bukanlah suatu pekerjaan yang mudah apalagi dalam mode *one-way*, maka dengan mengingat bahwa nilai ambiguitas fase dari waktu ke waktu tidak berubah selama tidak terjadi *cycle slip*, persamaan dibawah ini umumnya diterapkan untuk menghitung perubahan STEC dari waktu ke waktu.

Dengan mengansumsikan tidak terjadi *cycle slip* antara epok – epok yang berurutan (t_1 dan t_2) sehingga $N_1(t_1) = N_1(t_2)$ dan $N_2(t_1) = N_2(t_2)$, maka persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\delta\text{STEC} = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot (\delta L_1 - \delta L_2) \quad (2.4)$$

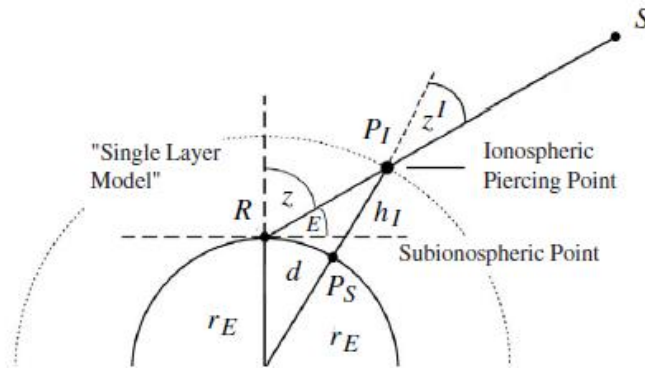
Dimana δSTEC , δL_1 , δL_2 adalah selisih nilai STEC, jarak fase L_1 dan L_2 antara dua epok yang berurutan. Dengan menentukan nilai VTEC dari nilai STEC maka harus diketahui bahwa nilai VTEC memiliki titik ionosfer dan *epoch* yang sama dari nilai STEC yang diperoleh pada langkah sebelumnya. maka untuk mendapatkan nilai VTEC dari nilai STEC dititik ionosfer tertentu (i) pada suatu epoch tertentu (t) , formula berikut dapat digunakan :

$$\text{VTEC}_i(t) = \text{STEC}_i(t) \cdot \cos z'_i(t) \quad (2.5)$$

Dimana z' adalah sudut *zenith* ke satelit di titik ionosfer. Sudut *zenith* satelit di titik ionosfer (z') dapat dihitung dari sudut *zenith*(z) atau sudut elevasi (e) di titik pengamat dengan formula berikut:

$$\begin{aligned} z' &= \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{R_e + h_m} \sin(z) \right] \\ &= \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{R_e + h_m} \cos(e) \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana R_e adalah radius bumi rata – rata (~6378 km) dan h_m adalah ketinggian lapisan ionosfer yang dianggap representatif



Gambar 2. 7 Geometri model ionosfer lapisan tunggal
(Sumber: Seeber, 2003)

Pemodelan VTEC bertujuan untuk menggambarkan nilai TEC untuk suatu wilayah. Dalam pemodelan VTEC untuk fungsi pemetaan maka dibutuhkan posisi lintang dan bujur untuk suatu wilayah. Dimana pemodelan VTEC dapat dirumuskan dengan:

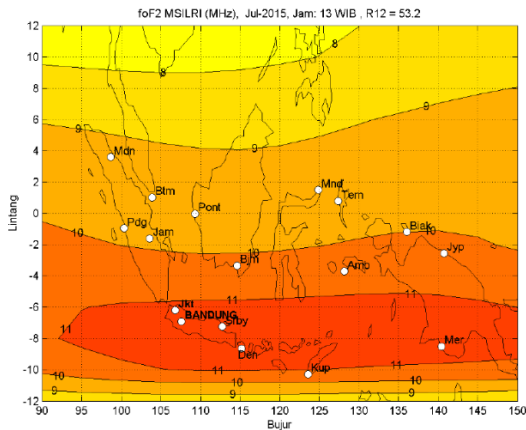
$$[Y] = [X] \cdot [A] \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} STEC^1 \\ STEC^2 \\ \dots \\ STEC^n \end{bmatrix}^T = [a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + b_1 + b_2] \cdot \begin{bmatrix} m^1 & m^2 & m^n \\ m^1\theta^1 & m^1\theta^1 & m^n\theta^1 \\ m^1\theta^{1^2} & m^1\theta^{1^2} & m^n\theta^2 \\ m^1\theta^{1^3} & m^1\theta^{1^3} & \dots & m^n\theta^3 \\ m^1\lambda^1 & m^1\lambda^1 & m^n\lambda^1 \\ m^1\lambda^{1^2} & m^1\lambda^{1^2} & m^n\lambda^2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Kemudian dalam pemodelan dalam pemodelan digunakan rumus :

$$VTEC = a_0 + a_1\theta^1 + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + b_1\lambda^1 + b_2\lambda^2 \quad (2.9)$$

2.5 TEC Regional Indonesia



Gambar 2. 8 Kondisi Ionosfer Regional Indonesia
jam 13.00 WIB
(Sumber: pussainsa.lapan.go.id)

Variasi kerapatan elektron ionosfer dipengaruhi oleh rotasi Bumi. Variasi diurnal dari kerapatan elektron ionosfer dapat diindikasikan dari frekuensi kritis lapisan F2 (foF2). Pola foF2 dapat pula menggambarkan secara umum tentang kondisi kerapatan elektron di ionosfer. Peningkatan foF2 yang berarti peningkatan kerapatan elektron lapisan F2 dimulai dari pagi hingga siang sekitar pukul 15.00 waktu lokal. Kemudian, kerapatan elektron mulai menurun seiring dengan berkurangnya pancaran radiasi Matahari karena rotasi Bumi. Pola foF2 dapat pula menggambarkan secara umum tentang kondisi kerapatan elektron di ionosfer. Peningkatan foF2 yang berarti peningkatan kerapatan elektron lapisan F2 dimulai dari pagi hingga siang sekitar pukul 15.00 waktu lokal. Kemudian, kerapatan elektron mulai menurun seiring dengan berkurangnya pancaran radiasi Matahari karena rotasi Bumi. Nilai perubahan TEC juga dipengaruhi oleh

rotasi Bumi yang mengakibatkan perubahan intensitas radiasi Matahari. Pola nilai TEC dari model akan menunjukkan pola yang naik dari pagi hingga siang (0-6 UT). Selanjutnya, pola TEC akan mengalami penurunan dari siang hingga sore (6 – 10 UT). Kemudian, pola rotasi Bumi berkaitan erat dengan lokasi bujur suatu lokasi.

2.6 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu terkait analisis nilai TEC adalah sebagai berikut:

1. Muslim (2009) melakukan pemodelan TEC Ionosfer diatas Sumatra mendekati *real time* dari data GPS frekuensi ganda NTUS. Dari data GPS frekuensi ganda dapat dikembangkan model TEC ionosfer di atas Sumatra dan sekitarnya yang mana cakupan model tersebut tergantung pada sudut elevasi minimum yang digunakan. Kemudian data tambahan yang digunakan meliputi data orbit satelit GPS dan data koordinat stasiun GPS serta data bias receiver. Prosedur awal dalam penelitian yaitu identifikasi waktu yang meliputi tahun, bulan, tanggal, jam dan menit. Kemudian dilakukan pencarian data yang diperlukan pada server. Dan dilanjutkan dengan perhitungan TEC dan VTEC. Pada setiap jam pengamatan dapat diperoleh pengamatan VTEC yang dapat diamati dari *receiver* NTUS. Setelah diperolehnya data VTEC dari stasiun pengamatan GPS NTUS maka model VTEC lokal di atas Sumatra dan sekitarnya dapat dibuat. Data komputasi TEC mendekati *real time*, model spasial TEC regional tiap jam dalam bentuk gambar dan file numerik selanjutnya disimpan di PC pemroses dan diupload ke server. Dalam proses pemodelan mulai dari identifikasi waktu sampai penyimpanan hasilnya memerlukan waktu rata – rata kurang dari 30 menit kecuali pada saat trafik internet sangat padat bisa lebih dari 30 menit bahkan bisa

terjadi kegagalan koneksi sehingga proses pemodelan harus diulang kembali. Untuk hasil pada penelitian ini memiliki batas sudut elevasi minimum 15 derajat dimana nilai TEC memiliki sifat yang kontinyu dan lebih halus tidak mengandung multipath. Perbandingan model TEC lokal P(3,2) dari data GPS NTUS dengan model TEC MSILRI menunjukkan bahwa model TEC tersebut memiliki pola kemiripan cukup tinggi terutama pada saat proses ionisasi ionosfer lebih dominan pada setelah matahari terbit sampai .

2. Rizal dkk (2009) melakukan analisa nilai TEC pada lapisan ionosfer dengan menggunakan data pengamatan GPS dua frekuensi. Studi kasus dalam penelitian ini yaitu ionosfer pada wilayah Surabaya. Dalam penelitian ini membutuhkan beberapa data antara lain data hasil pengukuran dalam bentuk RINEX dan data orbit satelit. Langkah – langkah untuk penelitian ini yaitu penentuan sudut elevasi, kemudian menentukan koordinat di titik ionosfer, perhitungan nilai TEC fase, nilai TEC kode, nilai delta TEC kode fase, dan nilai TEC kombinasi kode fase. Dalam penelitian ini ditentukan batas sudut elevasi antara lebih dari 30 derajat untuk semua data nilai TEC tidak mengandung multipath dan data TEC memiliki sifat kontinyu dan lebih halus. Ditemukan pula pergerakan nilai TEC selama 7 hari memiliki pola yang hampir sama. Nilai TEC maksimum terjadi pada pukul 05.00 WIB *Local Time* (LT). Dan nilai TEC minimum terjadi pada jam 08.00 WIB *Local Time* (LT). Pada penelitian ini belum dapat mengetahui pola pergerakan nilai TEC yang jelas karena pada penelitian ini belum dapat memodelkan nilai TEC dan pengamatan yang dilakukan terdapat kurang dari 24 jam pengamatan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 3. 1 Lokasi Stasiun CORS-GPS
(Sumber: Google Earth)

Lokasi daerah penelitian berada pada wilayah ionosfer di atas Surabaya dengan koordinat $07^{\circ} 09' - 07^{\circ} 21' \text{ LS}$ dan $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54' \text{ BT}$. Stasiun pengamatan yang digunakan adalah stasiun CSBY milik BIG yang berada pada $7^{\circ} 20' 3.60425'' \text{ LS}$ dan $112^{\circ} 43' 27.71424'' \text{ BT}$. Pada gambar 3.1 batas administrasi dari wilayah Surabaya ditandai dengan garis merah dan untuk lokasi stasiun pengamatan CSBY ditandai dengan simbol berwarna hijau. Untuk data pengamatan dari stasiun CSBY dimulai tanggal 7 Februari 2018 hingga 13 Februari 2018.

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Observasi format RINEX (pada tanggal 7 Februari 2018 sampai 13 Februari 2018 atau *Days of Year 38* hingga *Days of Year 44*) dari stasiun CORS-GPS CSBY milik Badan Informasi Geospasial Indonesia.
2. Data Navigasi format RINEX (pada tanggal 7 Februari 2018 sampai 13 Februari 2018 atau *Days of Year 38* hingga *Days of Year 44*) dapat diunduh dari (<http://sopac.ucsd.edu>) diakses pada tanggal 16 Mei 2018
3. Data bias satelit dapat diunduh dari (<ftp://ftp.aiub.unibe.ch>) diakses pada tanggal 23 Mei 2018
4. Data bias receiver dapat diunduh dari (<ftp://ftp.aiub.unibe.ch>) diakses pada tanggal 23 Mei 2018
5. Data program *rdmrx.f* dan *rdph.f* dapat diunduh dari (<https://ep.sci.hokudai.ac.jp/~heki/software.hht>) diakses pada tanggal 16 Mei 2018

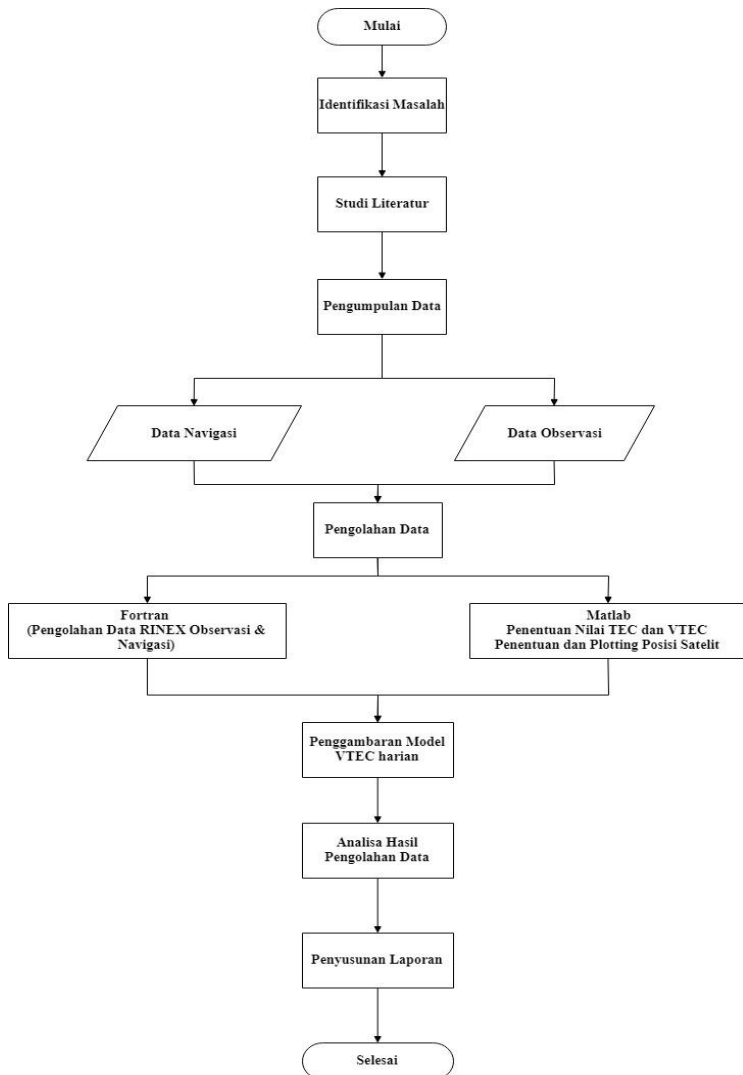
3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Perangkat Keras (*Hardware*)
 - Laptop Asus X550D
- Perangkat Lunak (*Software*)
 - Sistem Operasi Windows 10 dan Linux Ubuntu
 - Bahasa Pemrograman GFortran
 - Matlab versi R2013A

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal yang melatar belakangi permasalahan yang sedang terjadi, sehingga peneliti dapat melakukan perumusan permasalahan dan penentuan batasan masalah serta menentukan tujuan dilakukannya penelitian tersebut. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi masalah dimana dan bagaimana dalam menentukan perubahan dan analisis nilai TEC serta menggambarkan secara *near real time* dari data pengamatan CORS-GPS pada stasiun CSBY milik BIG yang berada di wilayah Surabaya.

2. Studi Literatur

Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh referensi yang akan digunakan dalam penelitian sehingga penulis memahami materi dari bidang yang akan diteliti yaitu meliputi:GNSS, ionosfer, TEC, software untuk mengolah data, analisis nilai TEC dan juga hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian ini.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi waktu pengamatan terlebih dahulu. Kemudian data – data *diunduh* dari *server*, data – data yang dibutuhkan dari penelitian ini sebagai berikut:

- Data Observasi format RINEX dari stasiun CORS-GPS CSBY milik BIG di daerah Surabaya dan data navigasi format RINEX yang didapat dari website (<http://sopac.ucsd.edu>).
- Data Bias Satelit dan data Bias *Receiver* yang dapat diunduh dari website (<ftp://ftp.aiub.unibe.ch>).

- Data program `rdrnx.f` dan `rdeph.f` untuk menghitung TEC maupun orbit satelit sebagai bahan untuk pengolahan dalam penelitian ini.

4. Tahap Pengolahan

Pengolahan data dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi Fortran pada sistem operasi Linux maupun aplikasi Matlab pada system Windows. Data pengolahan `rdeph.f` dan `rdrnx.f` dilakukan dengan menggunakan aplikasi Fortran dan data olahan dari Fortran selanjutnya dilakukan pengolahan pada Matlab untuk melakukan perhitungan TEC hingga VTEC (*Vertical Total Electron Content*) serta dilakukan plotting orbit satelit guna mengetahui nilai IPP. Kemudian dilanjutkan untuk penggambaran model VTEC harian dari perhitungan VTEC pada Matlab.

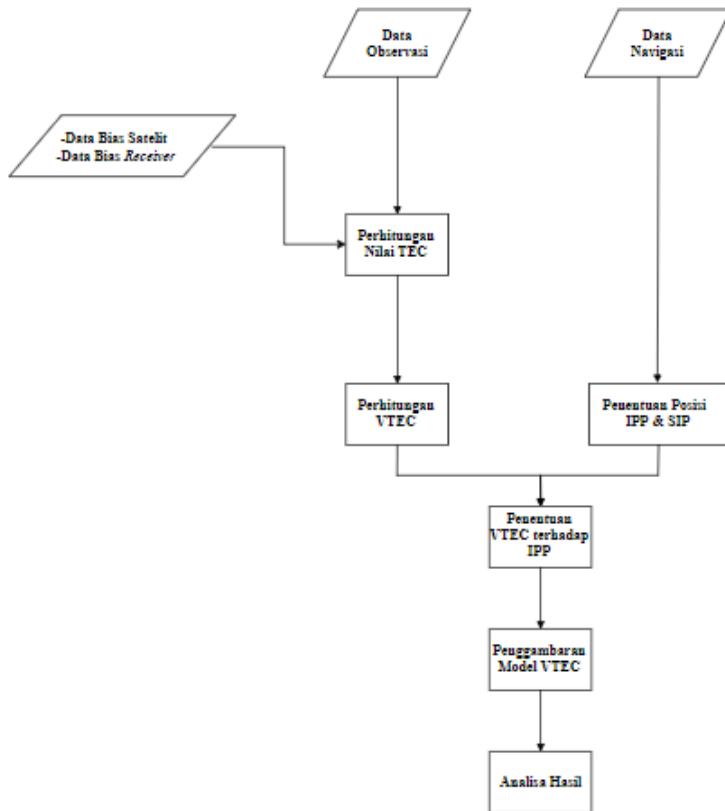
5. Analisis Data

Pada tahapan ini akan didapat hasil nilai TEC pada lapisan ionosfer di atas Surabaya untuk 7 hari dari tanggal 7 Februari 2018 hingga 13 Februari 2018. Dari pengamatan ini akan ditentukan keterkaitan terhadap analisis perubahan nilai TEC secara *near real time* yang telah didapat dari data pengamatan stasiun CSBY.

6. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir penelitian ini akan dilakukan pembuatan laporan sebagai hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

3.3.2 Tahapan Pengolahan



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut adalah penjelasan diagram alir tahapan pengolahan data :

a. Perhitungan TEC

Melakukan pengolahan data Observasi format RINEX menggunakan program `rdrnx.f` untuk mendapatkan waktu dan besar nilai STEC dari stasiun

pengamatan. Penentuan nilai STEC sesuai dengan satelit yang memiliki orbit dalam wilayah Indonesia dimana hasil tersebut disesuaikan dengan data IPP yang telah ditentukan. Dalam perhitungan STEC dilakukan pula koreksi terhadap bias satelit, bias *receiver*. Dalam penentuan nilai STEC didapatkan dengan rumus :

$$\text{STEC} = \text{TEC}_{\text{observasi}} - \text{bias}_{\text{satelit}} - \text{bias}_{\text{receiver}} \quad (3.1)$$

b. Penentuan Posisi IPP

Posisi orbit satelit yang telah didapatkan dari pengolahan menggunakan program *rdeph.f* pada aplikasi Gfortran kemudian dilanjutkan pengolahan menentukan posisi *Ionospheric Pierce Point* (IPP) untuk mengetahui posisi satelit yang merekam TEC. Pengolahan ini dilakukan menggunakan aplikasi Matlab yang kemudian hasilnya adalah plotting posisi IPP di permukaan Indonesia. Dari posisi *Ionospheric Pierce Point* (IPP) yang telah didapatkan maka lokasi pada titik ionosfer dapat diketahui.

c. Perhitungan VTEC

Perhitungan VTEC membutuhkan data STEC dengan koordinat IPPnya yang dilakukan pada langkah sebelumnya. Perhitungan VTEC terhadap fungsi pemetaan untuk mendapatkan nilai VTEC pada wilayah Surabaya, dengan rumus:

$$\begin{bmatrix} STEC^1 \\ STEC^2 \\ \dots \\ STEC^n \end{bmatrix}^T = [a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + b_1 + b_2] \cdot \begin{bmatrix} m^1 & m^2 & m^n \\ m^1\theta^1 & m^1\theta^1 & m^n\theta^1 \\ m^1\theta^{1^2} & m^1\theta^{1^2} & m^n\theta^2 \\ m^1\theta^{1^3} & m^1\theta^{1^3} & \dots & m^n\theta^3 \\ m^1\lambda^1 & m^1\lambda^1 & m^n\lambda^1 \\ m^1\lambda^{1^2} & m^1\lambda^{1^2} & m^n\lambda^2 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$VTEC = a_0 + a_1\theta^1 + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + b_1\lambda^1 + b_2\lambda^2 \quad (3.3)$$

d. Penggambaran Model VTEC

Penggambaran model VTEC dibutuhkan nilai dari koefisien $a_0, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$ dan koordinat wilayah Surabaya yang kemudian dilakukan penggambaran menggunakan aplikasi Matlab. Penggambaran model VTEC dilakukan dengan membatasi pada wilayah Surabaya dan sekitarnya dengan menyajikan index warna yang sesuai dengan nilai VTEC yang diperoleh dari hasil perhitungan. Penggambaran model VTEC untuk setiap jam pada area Surabaya dan sekitarnya.

e. Analisis Hasil

Analisis dilakukan terhadap grafik dari perubahan nilai TEC dan karakteristik dari nilai TEC dalam harian. Serta analisis terhadap model dari nilai VTEC terhadap wilayah Surabaya dan sekitarnya yang ditampilkan untuk nilai VTEC setiap jam.

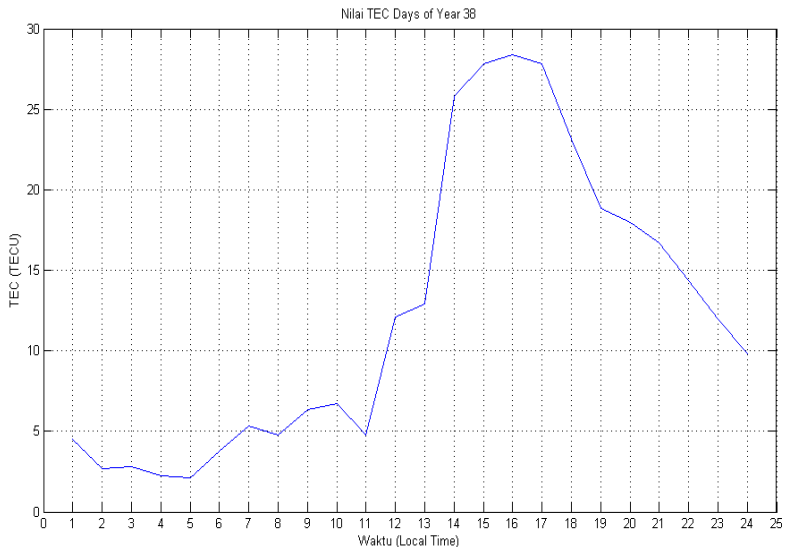
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Nilai Vertical Total Electron Content (VTEC) terhadap Waktu

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pola perubahan nilai *Vertical Total Electron Content* (VTEC) selama 24 jam dengan lama pengamatan 7 hari mulai tanggal 7 Februari 2018 hingga 13 Februari 2018 atau *Days of Year* 38 hingga *Days of Year* 44

4.1.1 Hari ke-1 (7 Februari 2018 atau *Days of Year* 38)



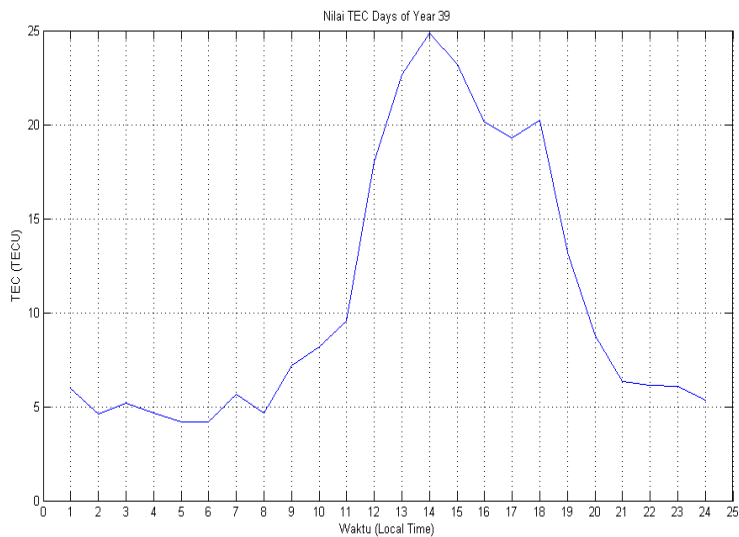
Gambar 4. 1 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Pertama

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 16.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 05.00 WIB untuk hari pertama (7 Februari 2018 atau *Days of Year* 38). Nilai VTEC pada hari pertama dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai VTEC pada Hari ke-1

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 16.00 WIB | 28,394 |
| 05.00 WIB | 2,138 |

4.1.2 Hari ke-2 (8 Februari 2018 atau *Days of Year 39*)



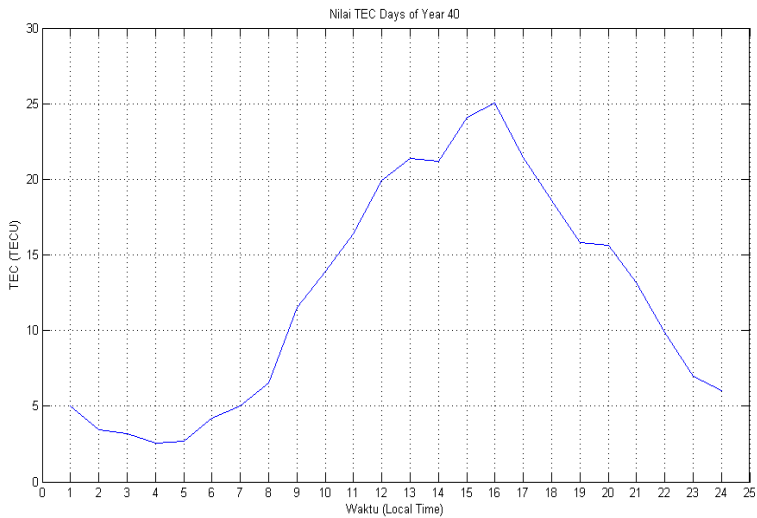
Gambar 4. 2 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Kedua

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 14.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 05.00 WIB untuk hari kedua (8 Februari 2018 atau *Days of Year 39*). Nilai VTEC pada hari kedua dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai VTEC pada Hari ke-2

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 14.00 WIB | 24,889 |
| 05.00 WIB | 4,166 |

4.1.3 Hari ke-3 (9 Februari 2018 atau *Days of Year 40*)



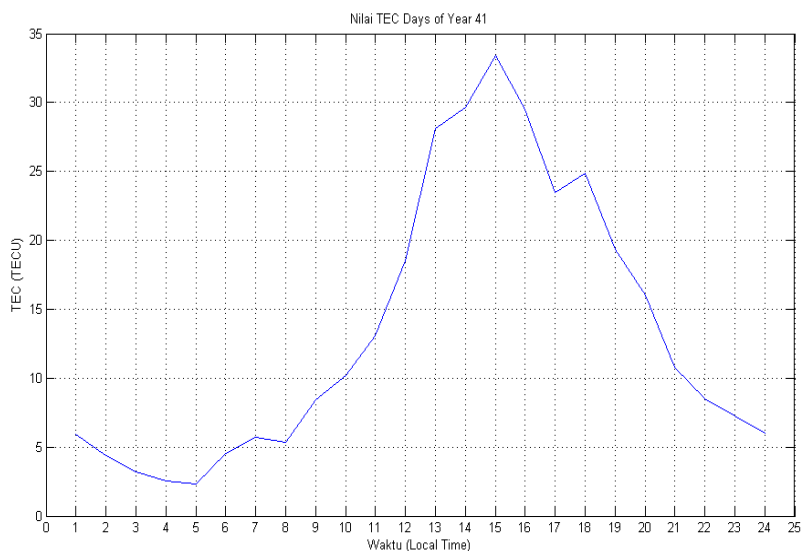
Gambar 4. 3 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Ketiga

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 16.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 04.00 WIB untuk hari ketiga (9 Februari 2018 atau *Days of Year 40*). Nilai VTEC pada hari ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai VTEC pada Hari ke-3

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 16.00 WIB | 25,031 |
| 04.00 WIB | 2,552 |

4.1.4 Hari ke-4 (10 Februari 2018 atau *Days of Year 41*)



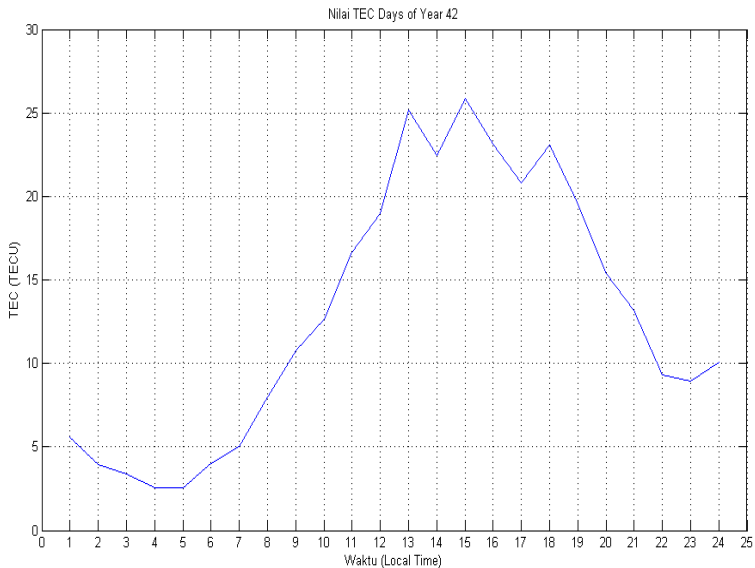
Gambar 4. 4 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Keempat

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 13.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 05.00 WIB untuk hari keempat (10 Februari 2018 atau *Days of Year 41*). Nilai VTEC pada hari keempat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai VTEC pada Hari ke-4

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 13.00 WIB | 33,395 |
| 05.00 WIB | 2,337 |

4.1.5 Hari ke-5 (11 Februari 2018 atau *Days of Year 42*)



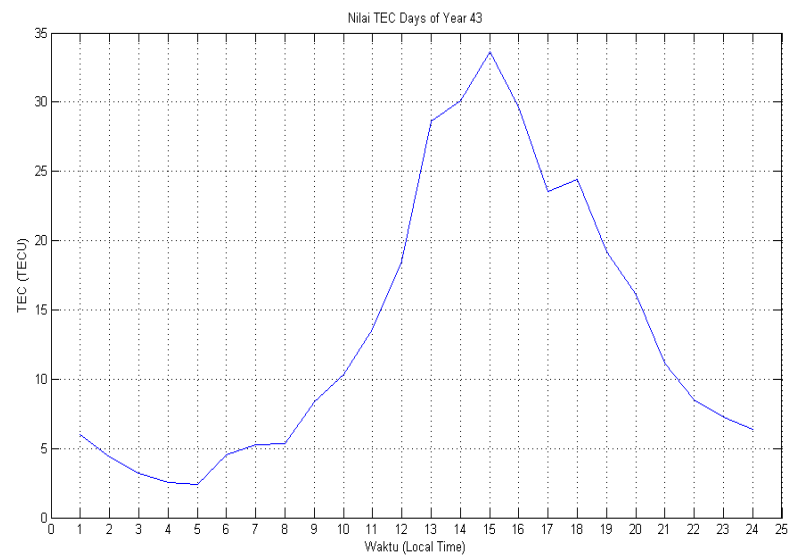
Gambar 4. 5 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Kelima

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 15.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 04.00 WIB untuk hari kelima (11 Februari 2018 atau *Days of Year 42*). Nilai VTEC pada hari kelima dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Nilai VTEC pada Hari ke-5

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 15.00 WIB | 25,880 |
| 04.00 WIB | 2,529 |

4.1.6 Hari ke-6 (12 Februari 2018 atau *Days of Year 43*)



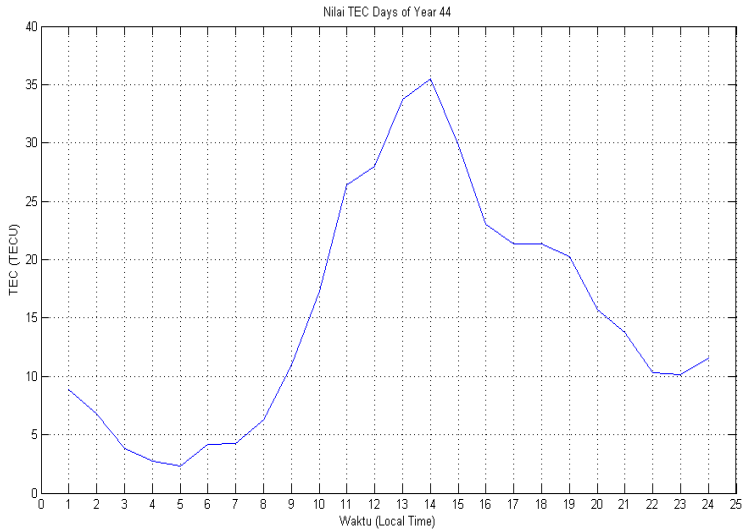
Gambar 4. 6 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Keenam

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 15.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 05.00 WIB untuk hari keenam (12 Februari 2018 atau *Days of Year 43*). Nilai VTEC pada hari keenam dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Nilai VTEC pada Hari ke-6

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| c | 33,636 |
| 05.00 WIB | 2,400 |

4.1.7 Hari ke-7 (13 Februari 2018 atau *Days of Year 44*)



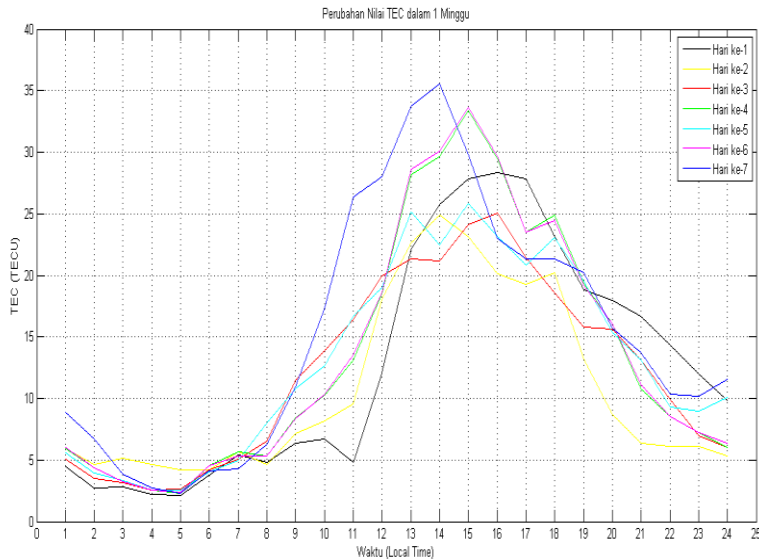
Gambar 4. 7 Grafik Nilai VTEC terhadap Waktu Hari Ketujuh

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui nilai VTEC maksimum terjadi pada jam 14.00 WIB dan nilai minimal terjadi pada jam 05.00 WIB untuk hari ketujuh (13 Februari 2018 atau *Days of Year 44*). Nilai VTEC pada hari ketujuh dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Nilai VTEC pada Hari ke-7

| Waktu | Nilai TEC (TECU) |
|-----------|------------------|
| 14.00 WIB | 35,510 |
| 05.00 WIB | 2,319 |

4.2 Analisa Perubahan Nilai TEC dalam 7 Hari



Gambar 4. 8 Perubahan Nilai VTEC dalam 7 Hari

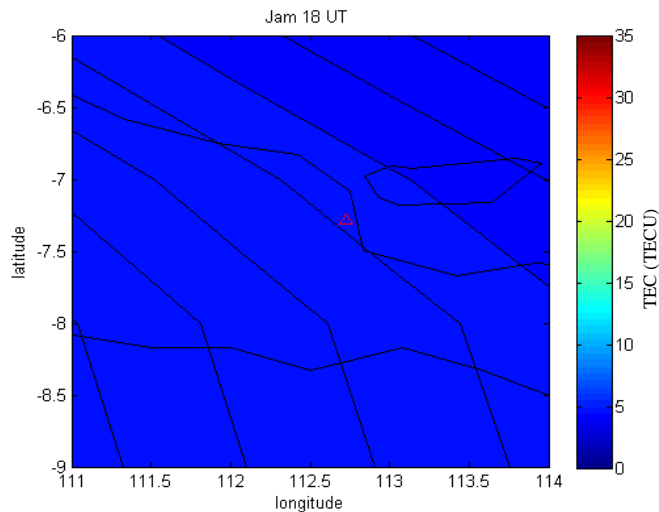
Pada gambar 4.8 menunjukkan perubahan nilai VTEC yang hampir sama dari hari pertama hingga hari ketujuh. Nilai VTEC cenderung konstan pada jam 24.00 WIB hingga jam 05.00 WIB. Kemudian kesamaan nilai VTEC maksimum dalam 7 hari terjadi pada siang hari diantara jam 13.00 WIB hingga 15.00 WIB yang disebabkan adanya pengaruh dari aktifitas matahari. Nilai VTEC maksimum terjadi pada tanggal 13 Februari 2018 atau *Days of Year* 44 jam 14.00 WIB siang hari dengan nilai 35,510 TECU. Nilai VTEC selama 7 hari pada jam 06.00 WIB hingga antara jam 13.00 WIB hingga 15.00 WIB mengalami pola kenaikan yang sama. Hal ini disebabkan pada jam tersebut mendapatkan pengaruh dari aktifitas matahari sehingga jumlah elektron semakin naik. Nilai VTEC minimum terjadi pada tanggal 7 Februari 2018 atau *Days of Year* 38 pada jam 05.00 WIB dengan nilai 2,138 TECU. Penyebab nilai VTEC

minimum dikarenakan rendahnya aktifitas atau pengaruh dari matahari.

4.3 Analisa Pola Pergerakan TEC

Pola pergerakan bertujuan untuk mengetahui pola perubahan nilai *Vertical Total Electron Content* (VTEC) secara spasial untuk nilai VTEC tanggal 7 Februari 2018 atau *Days of Year* 38 dari jam 01.00 WIB atau jam 18 UT hingga jam 24.00 atau jam 17 UT.

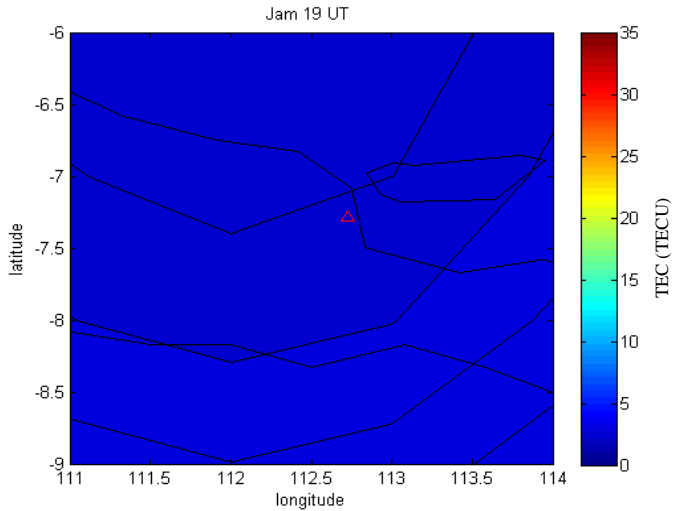
4.3.1 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 01.00 WIB (18 UT)



Gambar 4. 9 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 01.00 (18 UT)

Pada gambar 4.9 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 01.00 WIB atau 18 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC relatif kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya yang ditunjukkan dengan warna biru.

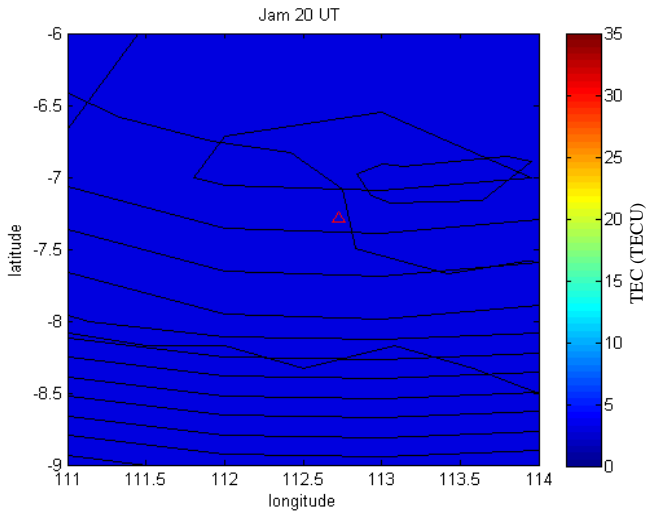
4.3.2 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 02.00 WIB (19 UT)



Gambar 4. 10 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 02.00 (19 UT)

Pada gambar 4.10 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 02.00 WIB atau 19 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya. Nilai VTEC lebih besar pada area selatan dari Surabaya ditunjukkan dengan warna biru muda.

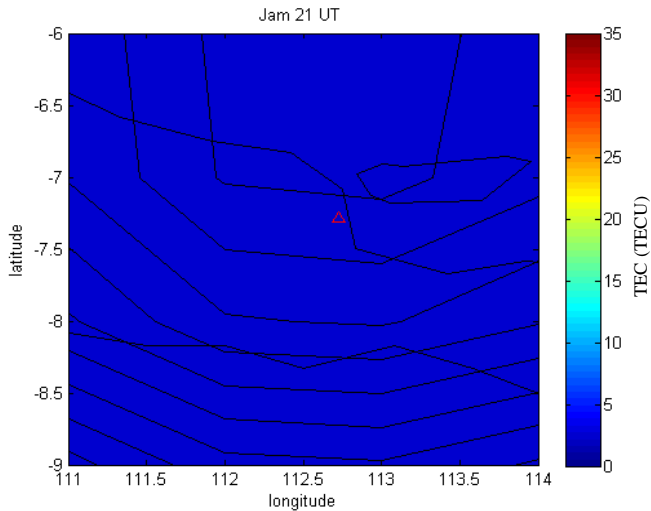
4.3.3 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 03.00 WIB (20 UT)



Gambar 4. 11 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 03.00 (20 UT)

Pada gambar 4.11 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 03.00 WIB atau 20 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya. Nilai VTEC yang tenang pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

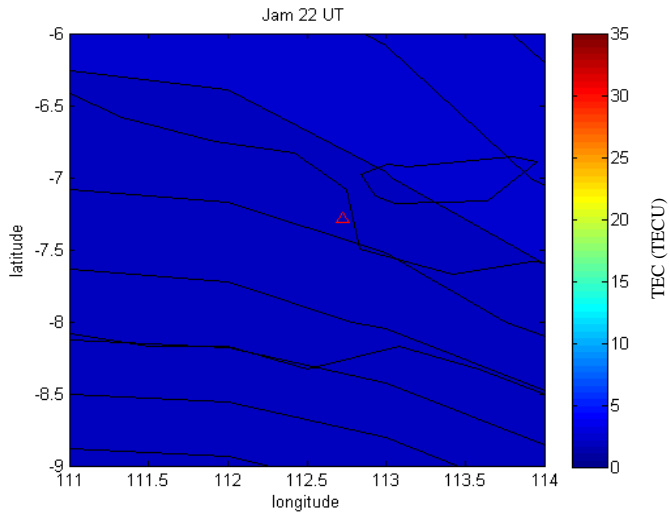
4.3.4 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 04.00 WIB (21 UT)



Gambar 4. 12 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 04.00 (21 UT)

Pada gambar 4.12 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 04.00 WIB atau 21 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya. Nilai VTEC yang tenang pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

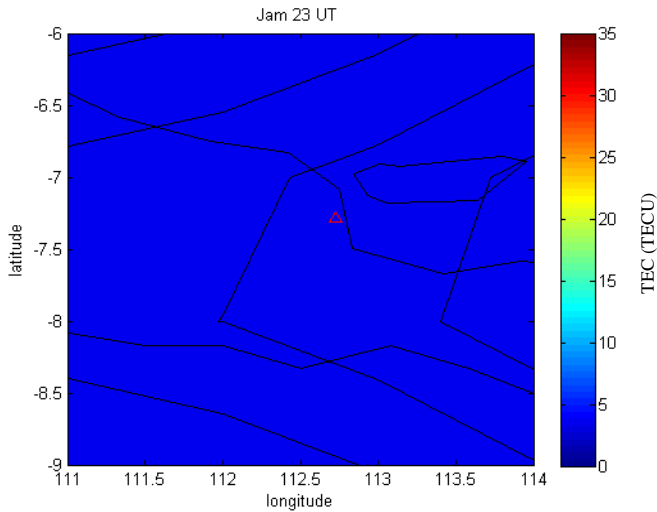
4.3.5 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 05.00 WIB (22 UT)



Gambar 4. 13 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 05.00 (22 UT)

Pada gambar 4.13 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 05.00 WIB atau 22 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya. Nilai VTEC lebih besar pada area utara dari Surabaya ditunjukkan dengan warna biru muda.

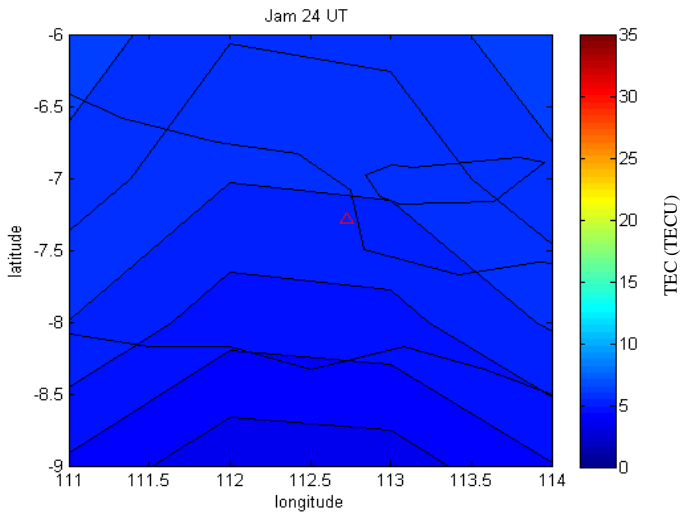
4.3.6 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 06.00 WIB (23 UT)



Gambar 4. 14 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 06.00 (23 UT)

Pada gambar 4.14 terdapat simbol segitiga berwarna biru yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 06.00 WIB atau 23 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC yang konstan pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

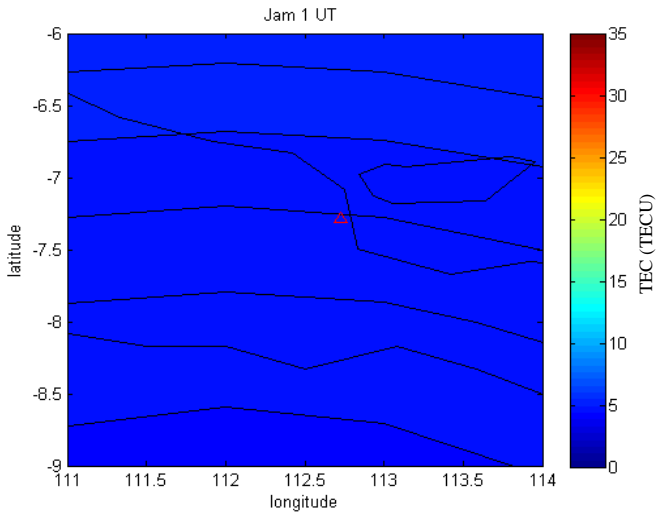
4.3.7 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 07.00 WIB (24 UT)



Gambar 4. 15 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 07.00 (24 UT)

Pada gambar 4.15 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 07.00 WIB atau 24 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil dan konstan untuk area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

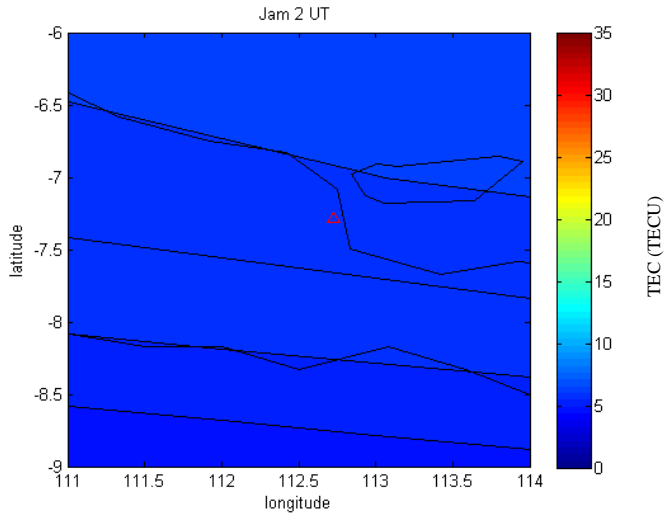
4.3.8 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 08.00 WIB (1 UT)



Gambar 4. 16 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 08.00 (1 UT)

Pada gambar 4.16 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 08.00 WIB atau 1 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC yang konstan pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

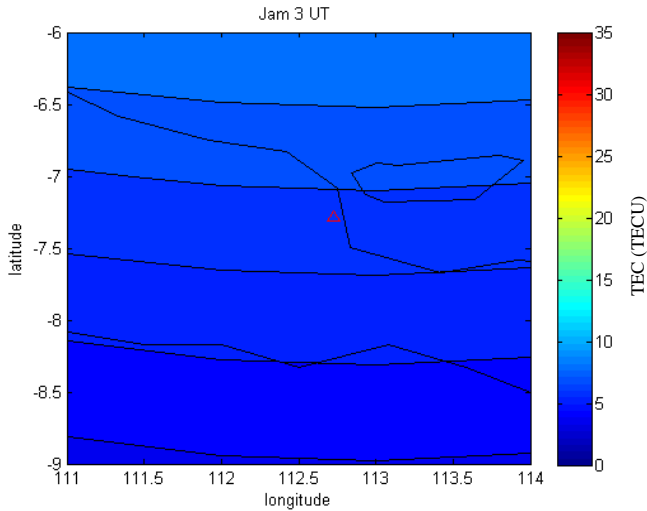
4.3.9 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 09.00 WIB (2 UT)



Gambar 4. 17 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 09.00 (2 UT)

Pada gambar 4.17 terdapat simbol segitiga berwarna biru yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 09.00 WIB atau 2 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC yang konstan pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru.

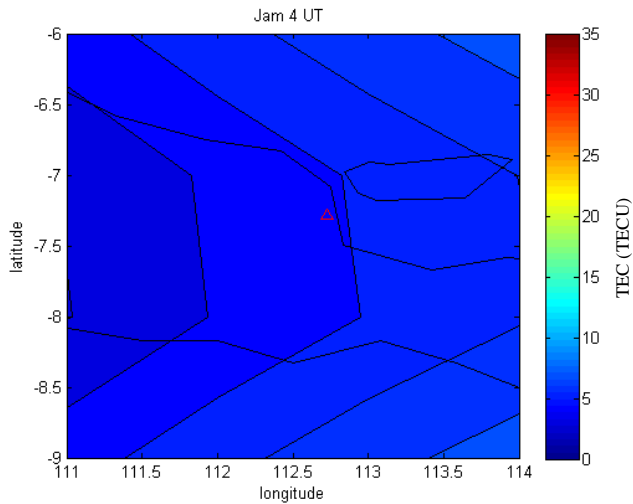
4.3.10 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 10.00 WIB (3 UT)



Gambar 4. 18 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 10.00
(3 UT)

Pada gambar 4.18 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 10.00 WIB atau 3 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC kecil pada area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan warna biru. Nilai VTEC semakin besar ditunjukkan dengan warna biru muda untuk area utara Surabaya

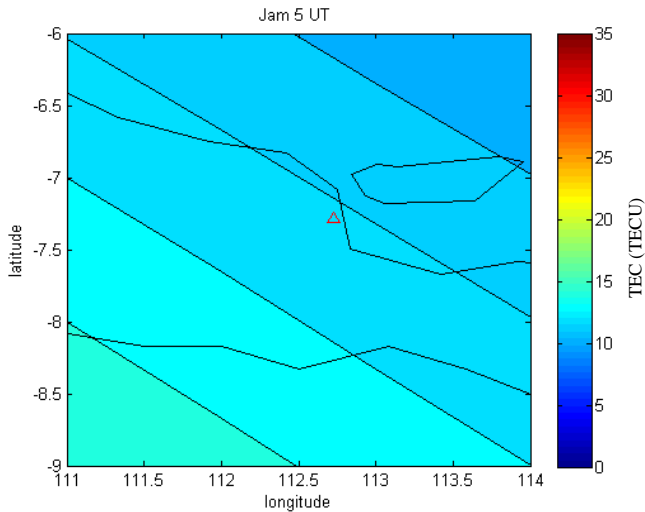
4.3.11 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 11.00 WIB (4 UT)



Gambar 4. 19 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 11.00 (4 UT)

Pada gambar 4.19 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 11.00 WIB atau 4 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC tergolong bernilai kecil untuk area Surabaya dan sekitarnya. Nilai VTEC lebih kecil pada area barat dari Surabaya ditunjukkan dengan warna biru tua.

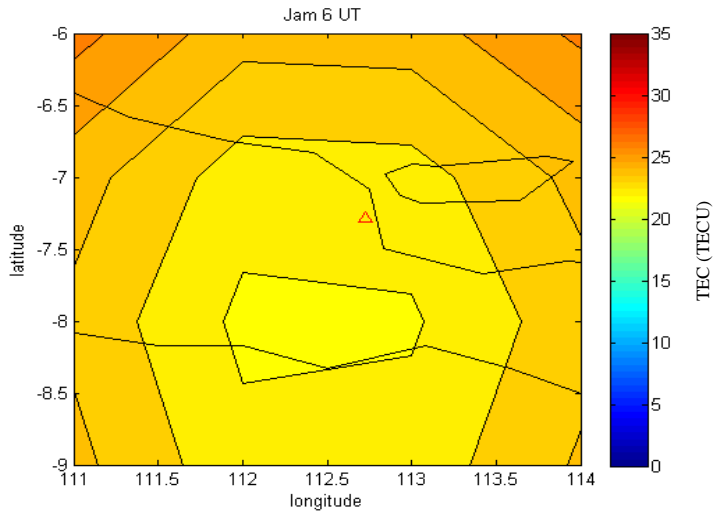
4.3.12 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 12.00 WIB (5 UT)



Gambar 4. 20 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 12.00
(5 UT)

Pada gambar 4.20 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 12.00 WIB atau 5 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar untuk area barat daya dari Surabaya dan nilai VTEC semakin kecil untuk area timur laut dari Surabaya.

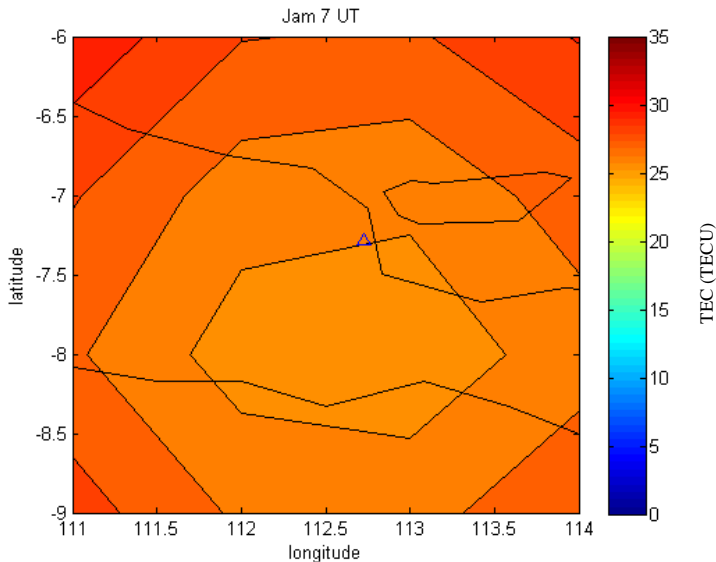
4.3.13 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 13.00 WIB (6 UT)



Gambar 4. 21 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 13.00
(6 UT)

Pada gambar 4.21 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 13.00 WIB atau 6 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin kecil mendekati Surabaya.

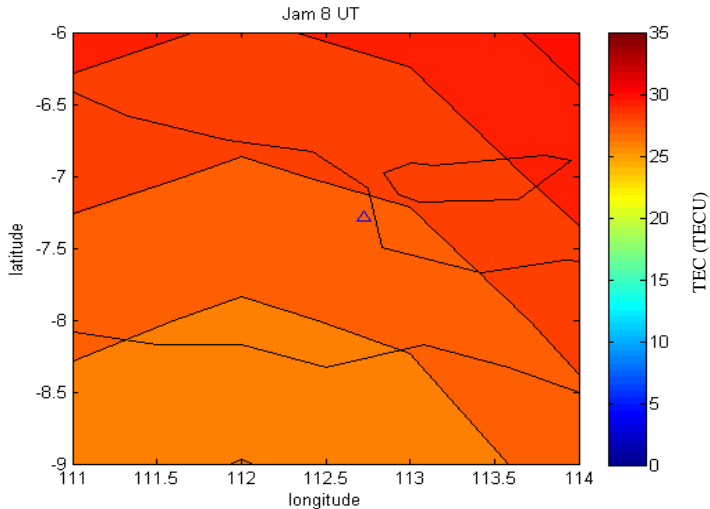
4.3.14 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 14.00 WIB (7 UT)



Gambar 4. 22 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 14.00
(7 UT)

Pada gambar 4.22 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 14.00 WIB atau 7 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin kecil mendekati Surabaya.

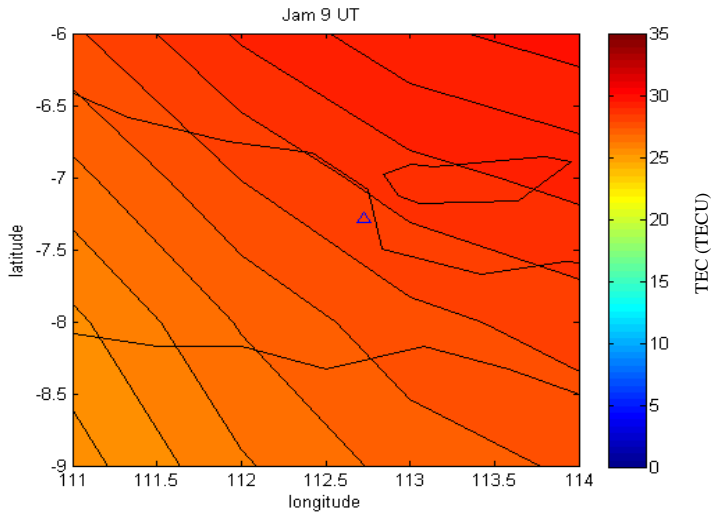
4.3.15 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 15.00 WIB (8 UT)



Gambar 4. 23 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 15.00 (8 UT)

Pada gambar 4.23 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 15.00 WIB atau 8 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar untuk area utara Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari jingga ke merah.

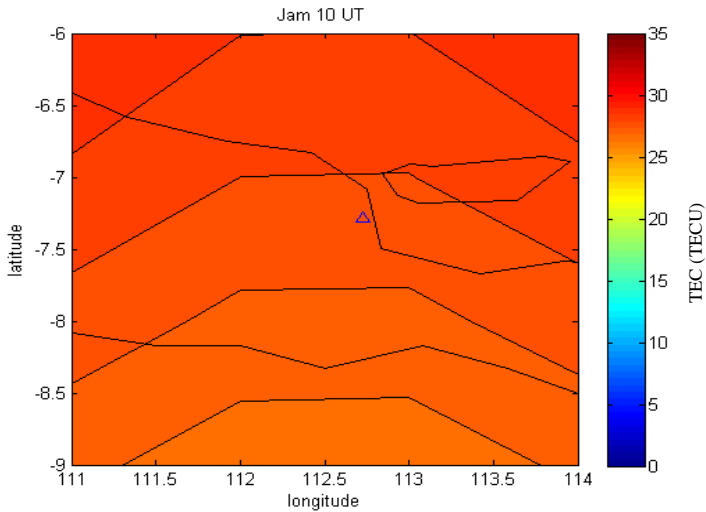
4.3.16 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 16.00 WIB (9 UT)



Gambar 4. 24 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 16.00
(9 UT)

Pada gambar 4.24 terdapat simbol segitiga berwarna biru yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 16.00 WIB atau 9 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin kecil menuju area barat daya dari Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari merah ke jingga.

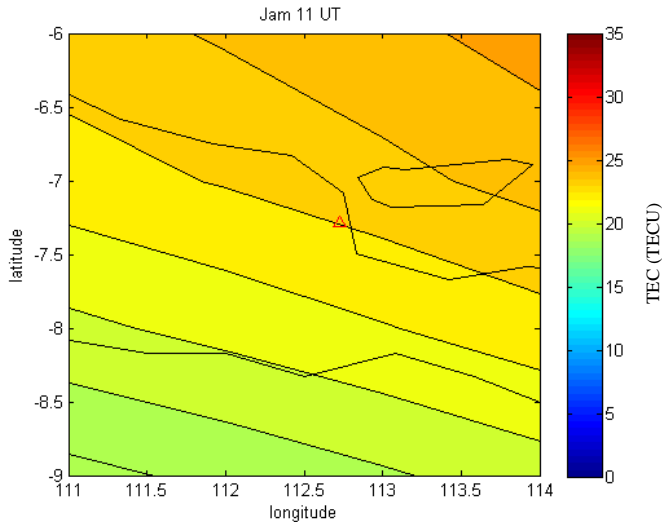
4.3.17 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 17.00 WIB (10 UT)



Gambar 4. 25 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 17.00 (10 UT)

Pada gambar 4.25 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 17.00 WIB atau 10 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin kecil menuju area selatan Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan perubahan warna dari merah ke jingga.

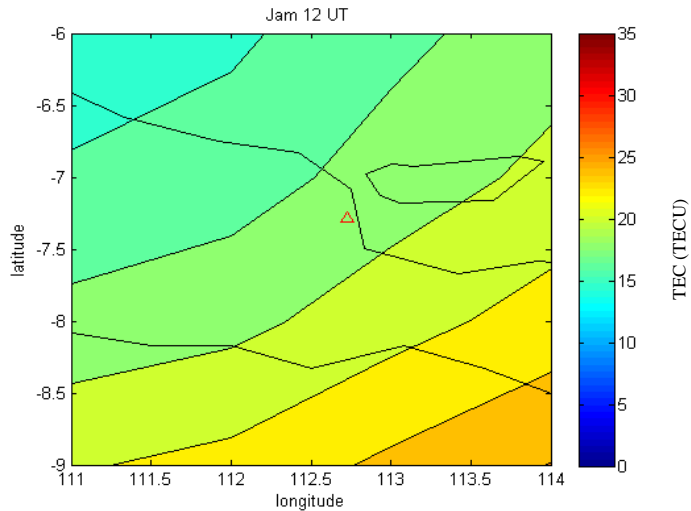
4.3.18 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 18.00 WIB (11 UT)



Gambar 4. 26 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 18.00
(11 UT)

Pada gambar 4.26 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 18.00 WIB atau 11 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar menuju area utara Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari hijau ke jingga.

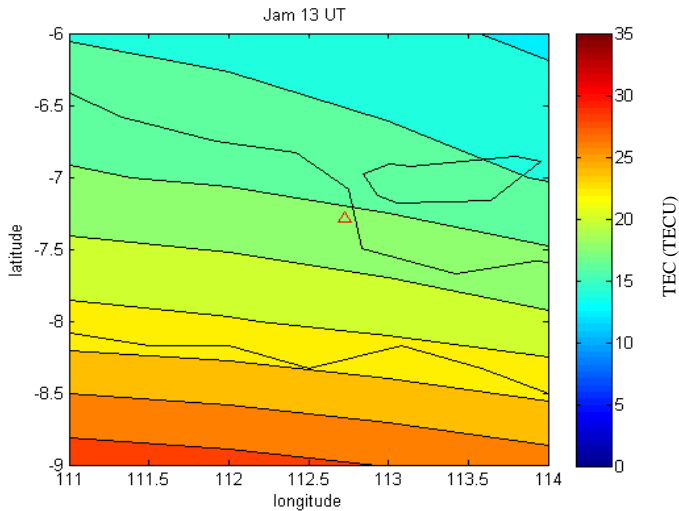
4.3.19 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 19.00 WIB (12 UT)



Gambar 4. 27 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 19.00 (12 UT)

Pada gambar 4.27 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 19.00 WIB atau 12 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar menuju area tenggara dari Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari hijau ke jingga dan bernilai kecil untuk area barat laut dari Surabaya.

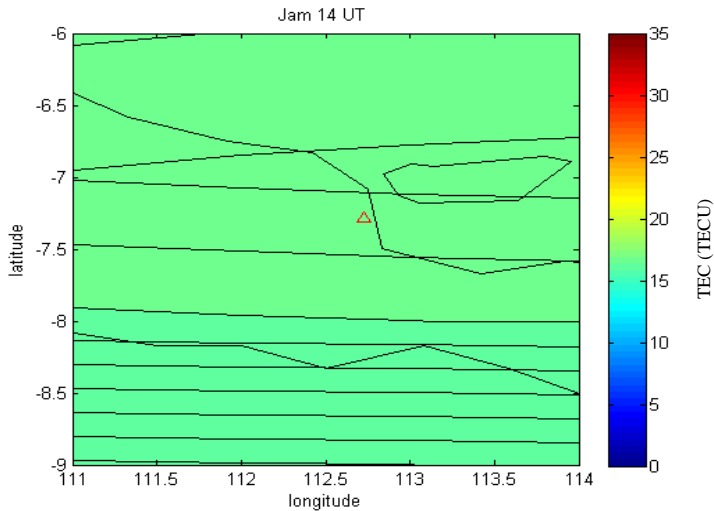
4.3.20 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 20.00 WIB (13 UT)



Gambar 4. 28 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 20.00 (13 UT)

Pada gambar 4.28 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 20.00 WIB atau 13 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar menuju area selatan Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari biru ke merah.

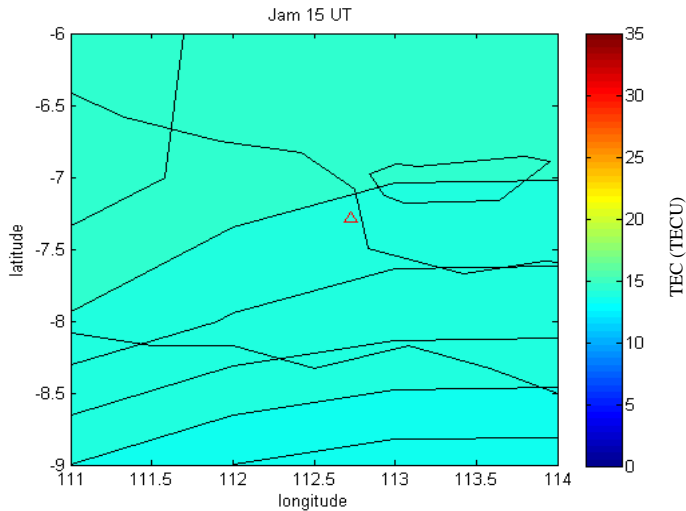
4.3.21 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 21.00 WIB (14 UT)



Gambar 4. 29 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 21.00 (14 UT)

Pada gambar 4.29 terdapat simbol segitiga berwarna biru yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 21.00 WIB atau 14 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC relatif sama area Surabaya dan sekitarnya ditunjukkan dengan hijau.

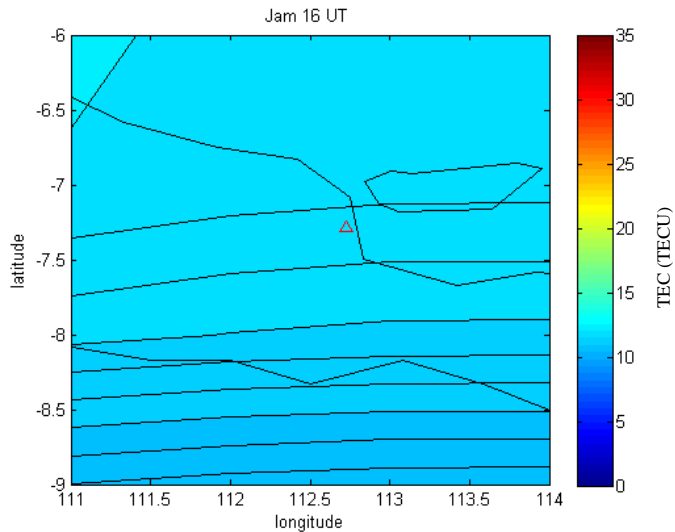
4.3.22 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 22.00 WIB (15 UT)



Gambar 4. 30 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 22.00 (15 UT)

Pada gambar 4.30 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 22.00 WIB atau 15 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar menuju area utara Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari biru ke hijau.

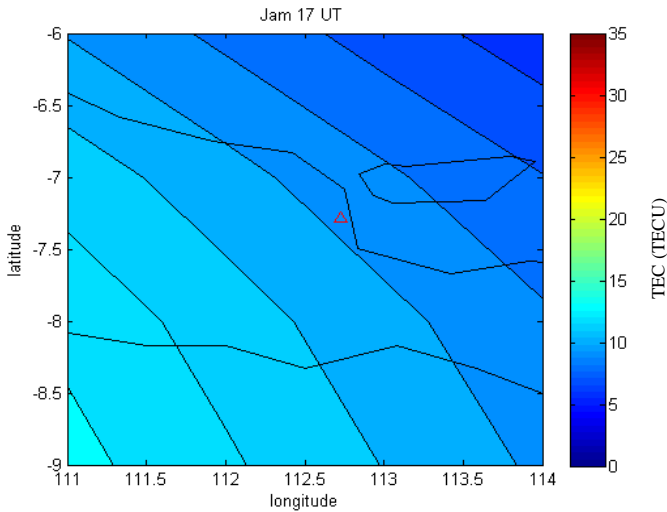
4.3.23 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 23.00 WIB (16 UT)



Gambar 4. 31 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 23.00 (16 UT)

Pada gambar 4.31 terdapat simbol segitiga berwarna biru yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 23.00 WIB atau 16 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC relative kecil dan semakin kecil menuju area selatan Surabaya ditunjukkan dengan warna biru tua.

4.3.24 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 24.00 (17 UT)



Gambar 4. 32 Pergerakan Nilai VTEC pada Jam 24.00 (17 UT)

Pada gambar 4.32 terdapat simbol segitiga berwarna merah yang menunjukkan dari lokasi stasiun CSBY yang berada pada wilayah Surabaya. Untuk nilai VTEC pada jam 24.00 atau 17 UT pada tanggal 7 Februari 2018 nilai VTEC semakin besar menuju area barat daya Surabaya ditunjukkan dengan perubahan warna dari biru ke biru muda.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis nilai *Total Electron Content* (TEC) pada lapisan ionosfer Surabaya menggunakan data GPS dua frekuensi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pola pergerakan nilai TEC pada pengamatan selama 7 hari mulai dari hari pertama hingga hari ketujuh mengalami pola yang hampir sama
2. Nilai TEC maksimum terjadi pada hari ketujuh yaitu tanggal 13 Februari 2018 atau *Days of Year 44* dengan nilai 35,510 TECU pada jam 14.00 WIB atau 7 *Universal Time* (UT).
3. Nilai TEC minimum terjadi pada hari ketujuh yaitu tanggal 7 Februari 2018 atau *Days of Year 38* dengan nilai 2,138 TECU pada jam 5.00 atau 22 *Universal Time* (UT).
4. Pola pergerakan nilai TEC untuk wilayah Surabaya dan sekitarnya dari jam 01.00 WIB hingga 24.00 secara spasial pada hari pertama menunjukkan jam 01.00 WIB hingga 11.00 WIB relatif kecil ditunjukkan dengan warna biru kemudian nilai TEC meningkat dari jam 12.00 WIB hingga 17.00 WIB ditunjukkan dengan perubahan warna biru hingga merah kemudian nilai VTEC mengecil kembali pada jam 18.00 WIB ditunjukkan dengan perubahan jingga hingga biru.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam penentuan nilai TEC suatu wilayah lebih baik menggunakan data lebih dari 1 titik pengamatan untuk dapat memodelkan nilai TEC.
2. Komputasi dalam pengolahan nilai TEC lebih baik ditingkatkan untuk mencapai *real time*.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Prayitno. 2010. "Perbandingan Antara Model TEC Regional Indonesia *Near-Real Time* Dan Model TEC GIM (*Global Ionospheric Map*) Berdasarkan Variasi Harian (Diurnal)". *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*. Vol. 5: 40-53.
- Abidin. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta: PT. Anem Kosong Anem.
- Abidin. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Aerospace Corporation. 2003. "GPS Primer: A Student Guide to the Global Positioning System". Los Angeles, USA.
- Bakara, Jakondar. 2011. "Perkembangan Sistem Satelit Navigasi Global dan Aplikasinya". *Bandung: Berita Dirgantara* Vol. 12 No. 2.
- Davies, K. 1990. *Ionospheric Radio*. London: Peter Peregrinus.
- Denaro, Lino Garda. 2015. "Analisis perubahan ionosfer dan posisi stasiun GPS-CORS pada saat letusan besar gunung berapi 2010". Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika- Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fukao, S., Ozawa, Y., Yokoyama, T., dan Yamamoto, M. 2004. "First observations of the spatial structure of F region 3-m-scale field-aligned irregularities with the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia". *J. Geophys. Res.* Vol. 109.
- Gao Y., Liu, Z, McLellan J.F. 1997. "Carrier-phase based regional area differential GPS for decimeter-level positioning and navigation". *ION GPS'97*. Kansas City, USA.
- Heki, K. & Cahyadi, M. N. 2013. Ionospheric Disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias Earthquakes, Sumatra, Observed with a regional GPS Network. *Journal of Geophysical Research*, 118.

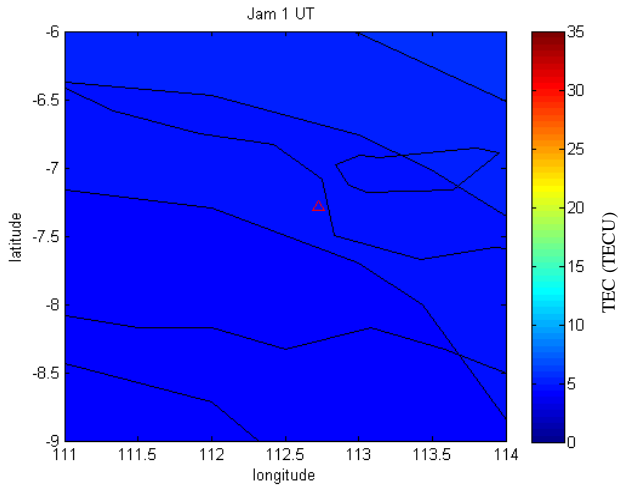
- LAPAN. 2014. Ionosfer dan Telekomunikasi. <URL: <http://pussainsa.lapan.go.id/index.php/iontelkom>>. Dikunjungi pada tanggal 23 Juli 2017, jam 15.00 WIB.
- Liu, Z.Z. 2004. Ionospheric Tomographic Modeling and Application Using Global Positioning System (GPS) Measurements. Canada: Doctoral Thesis, University of Calgary.
- Mc. Namara, L.F. 1994. Radio Amateurs Guide to the Ionosphere. Malabar, FL : Krieger Publ. Comp.
- Maddison, R., & Mhurcu, C. N. 2009. "Global Positioning System: a New Opportunity In Physical Activity Measurement". International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. Volume. 6:73.
- Muslim, B., Abidin, H.A., Liong, T.H., Kuntjoro, W., Subarya, C., Andreas, H., Gamal, M. 2006. "Pemodelan TEC Regional dari Data GPS Stasiun Tetap di Indonesia dan Sekitarnya". Proceedings ITB Sains dan Teknologi. Volume 38A. No 2.
- Muslim, B. 2009. "Pemodelan TEC Ionosfer Di Atas Sumatra Dan Sekitarnya Mendekati Real Time Dari Data GPS NTUS". Bandung: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN.
- Muslim, B. 2009. "Komputasi TEC Ionosfer Mendekati Real Time Dari Data GPS". Bandung: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN.
- Petty, Grant W. 2008. A First Course in Atmospheric Thermodynamics. Madison, Wisconsin: Sundog Publisher.
- Russel, Randy. 2014. The Ionosphere. <URL: <https://scied.ucar.edu/ionosphere>>. Dikunjungi pada tanggal 26 April 2018, jam 15.00 WIB WIB.
- Rizal, Mochammad. 2009. "Analisa Nilai TEC (Total Electron Content) pada Lapisan Ionosfer Dengan Menggunakan Data Pengamatan Gps Dua Frekuensi". Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy*, 2nd completely revised and extended edition. Berlin: Walter de Gruyter.
- Spilker J. J, & Parkinson BW. 'Global positioning system: theory and applications'. American Institute of Aeronautics and Astronautics: Reston. Vol 1: 485–515
- Taufiqurrahman, E. 2010. "Analisis Korelasi Frekuensi Kritis Lapisan F Ionosfer (F Of2) Dengan Gempa Di Sumatera Barat (Studi Kasus Gempa Tanggal 6 Maret 2007 Dan 30 September 2009)". Padang: Universitas Andalas.

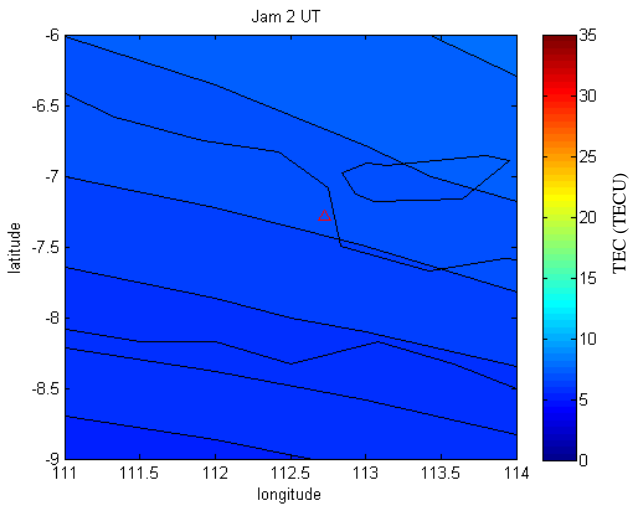
Halaman ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN

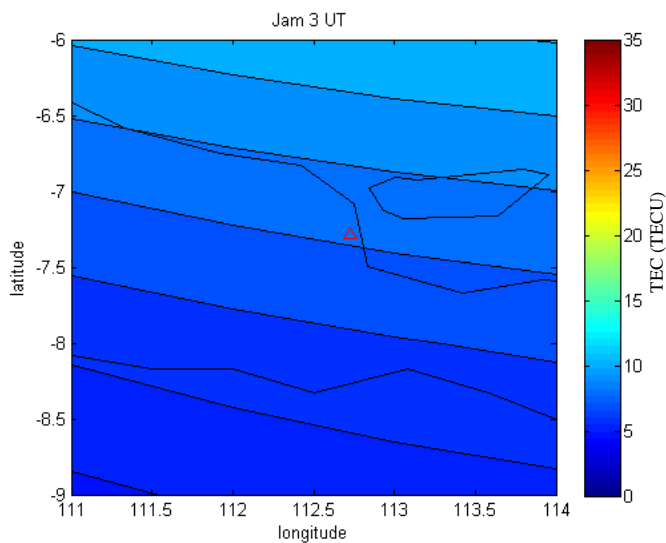
1. Hasil pemodelan VTEC:
 - a. Model VTEC tanggal 8 Februari 2018
 - Jam 1 UT



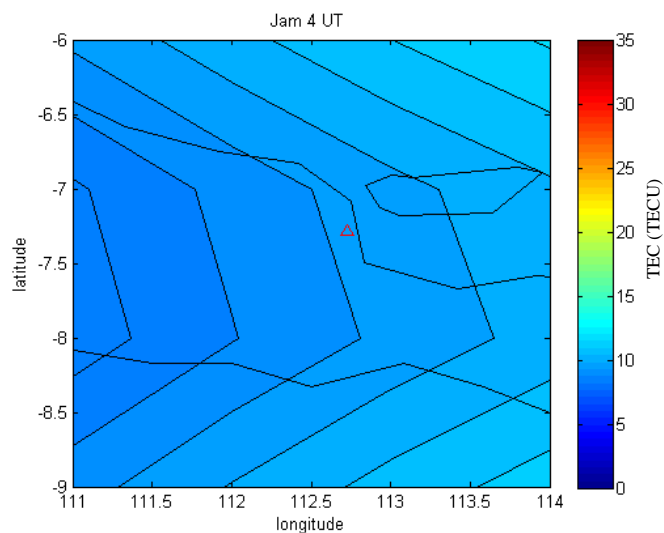
- Jam 2 UT



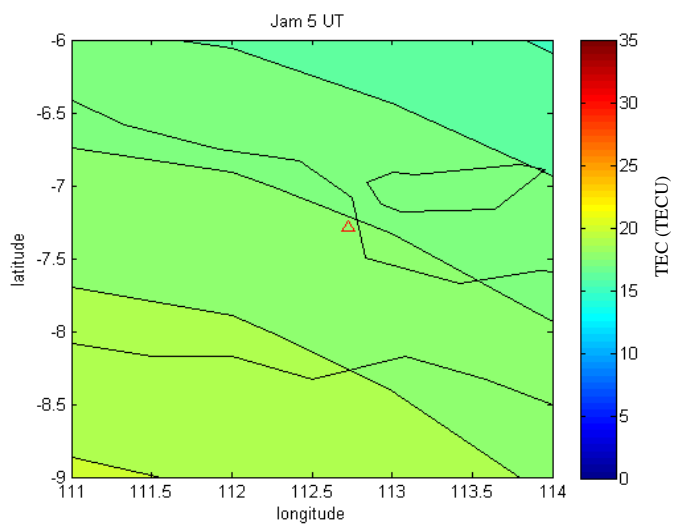
- Jam 3 UT



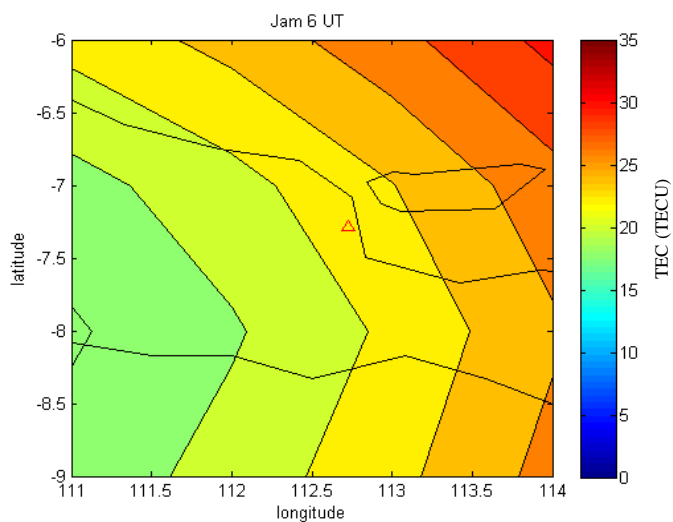
- Jam 4 UT



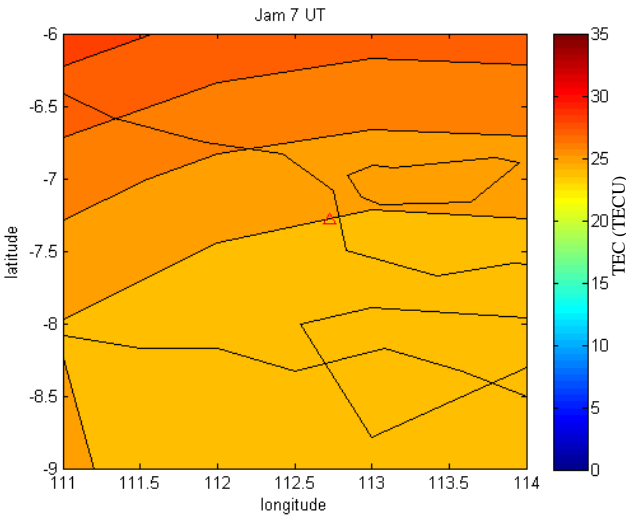
- Jam 5 UT



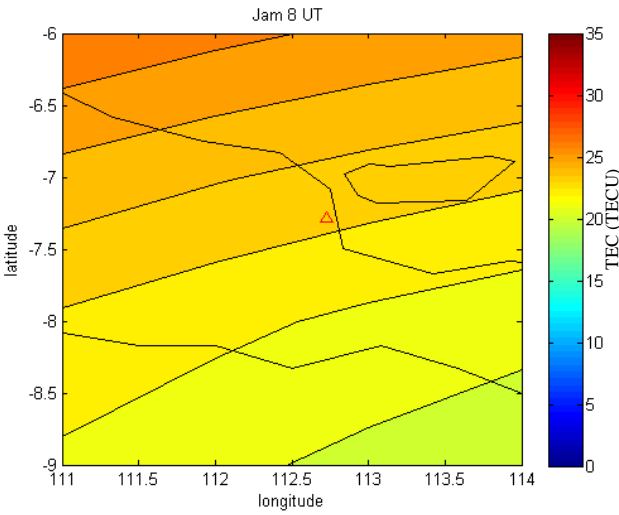
- Jam 6 UT



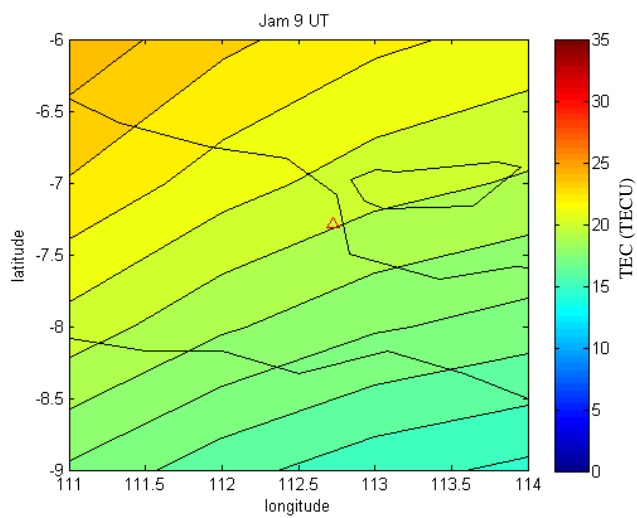
- Jam 7 UT



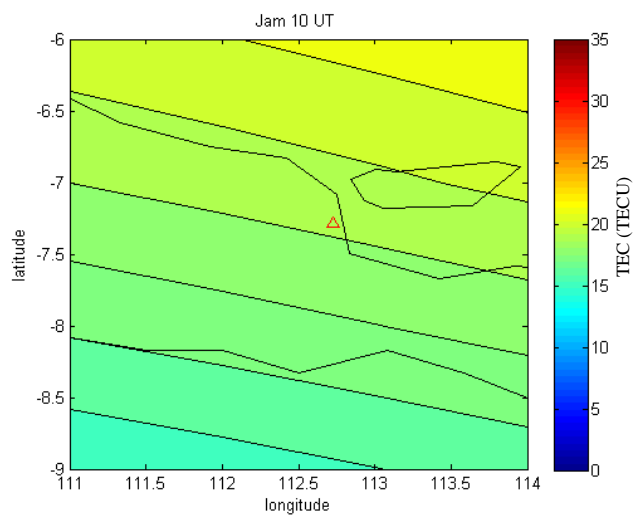
- Jam 8 UT



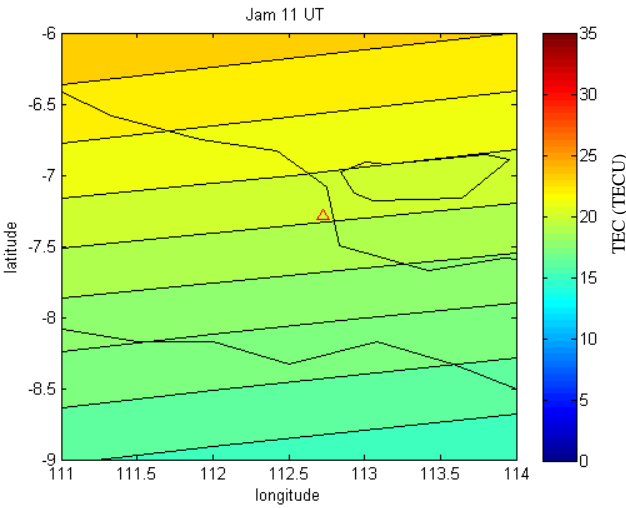
- Jam 9 UT



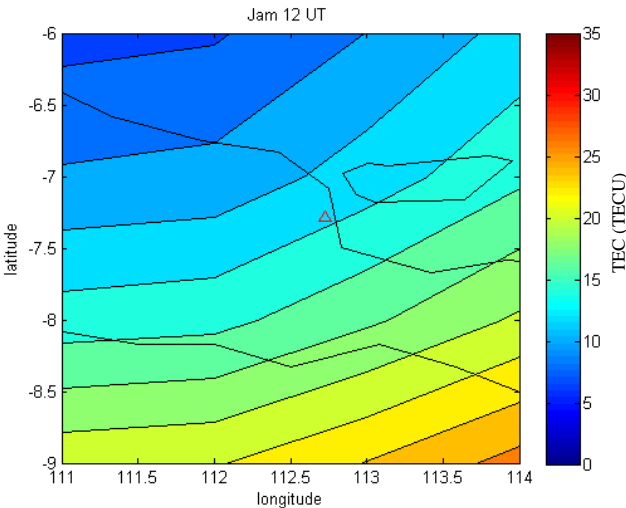
- Jam 10 UT



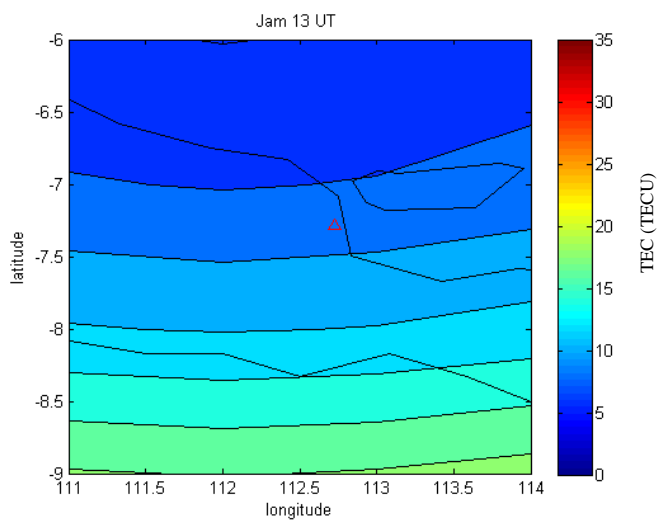
- Jam 11 UT



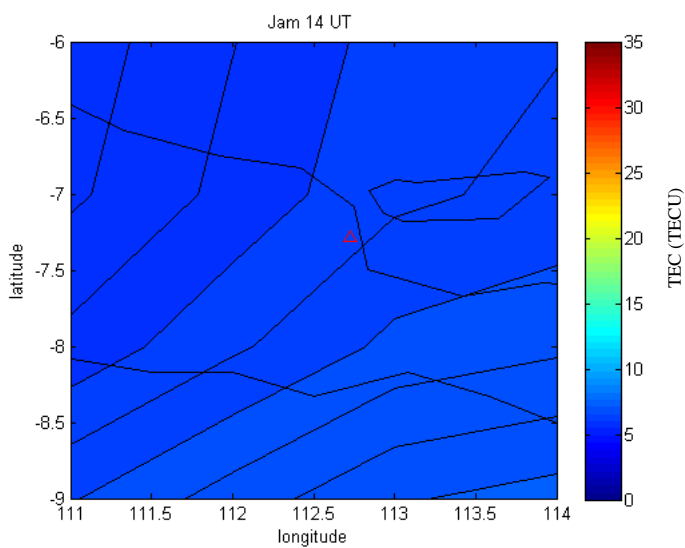
- Jam 12 UT



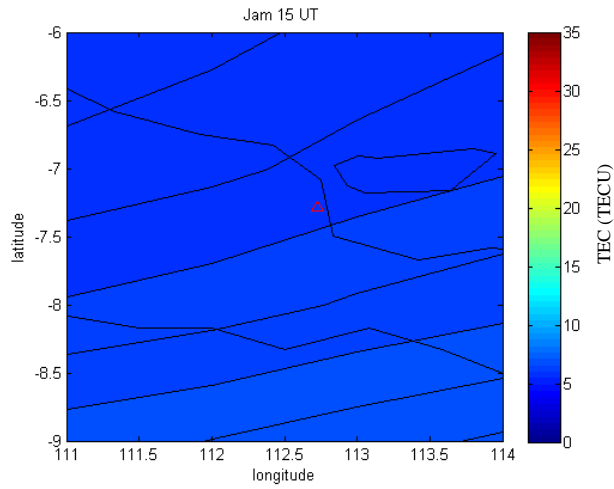
- Jam 13 UT



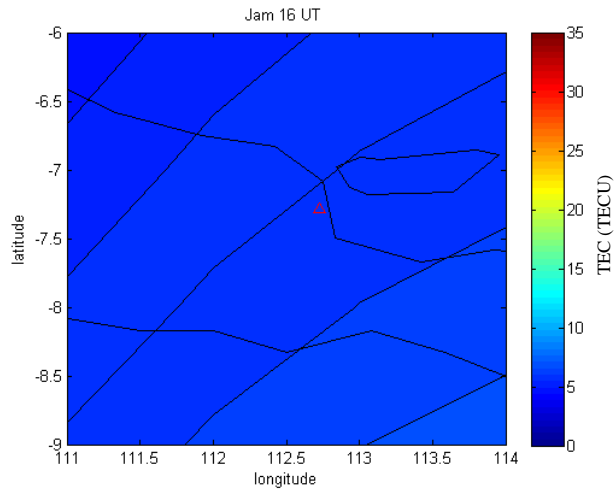
- Jam 14 UT



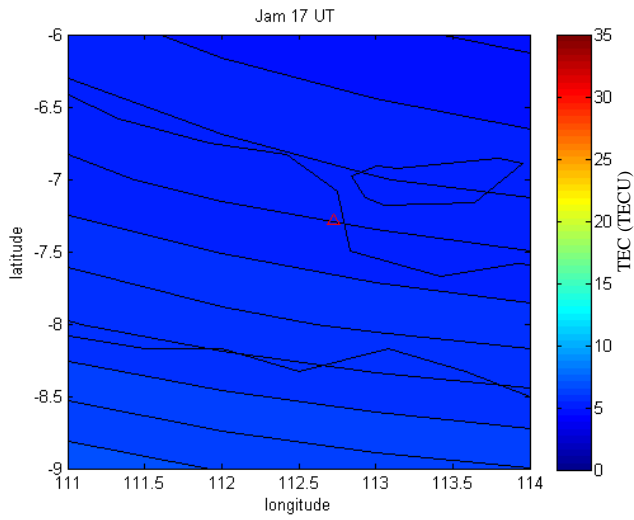
- Jam 15 UT



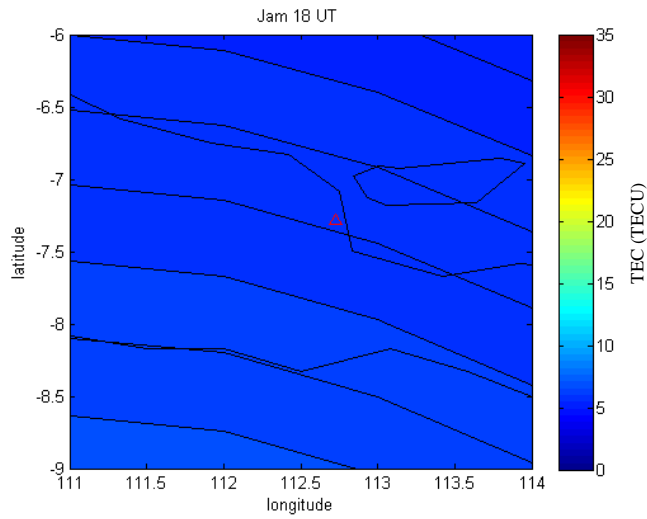
- Jam 16 UT



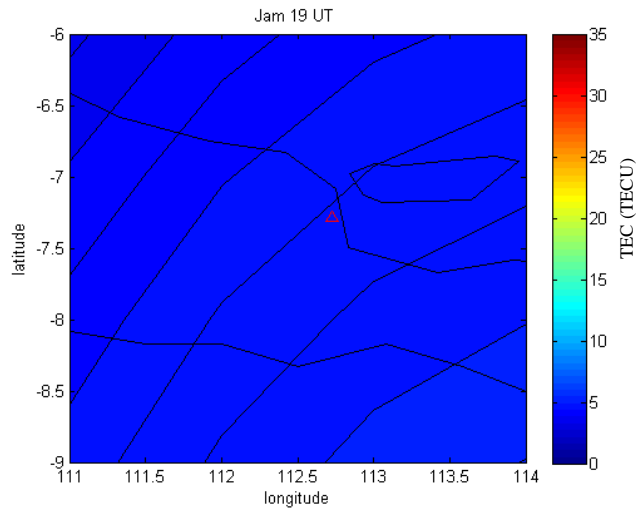
- Jam 17 UT



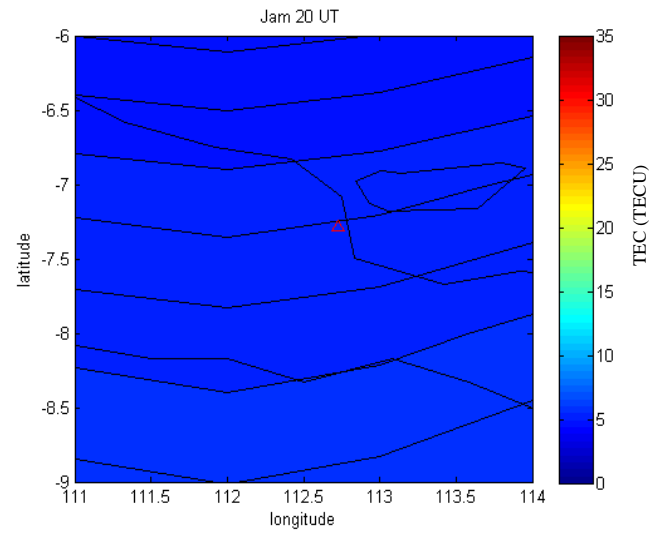
- Jam 18 UT



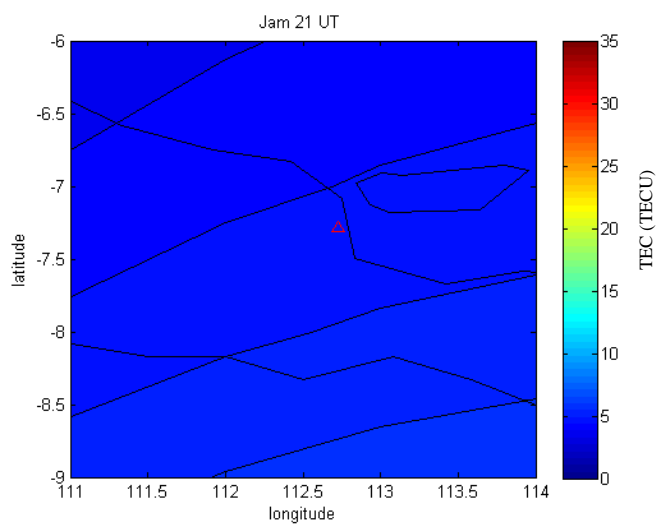
- Jam 19 UT



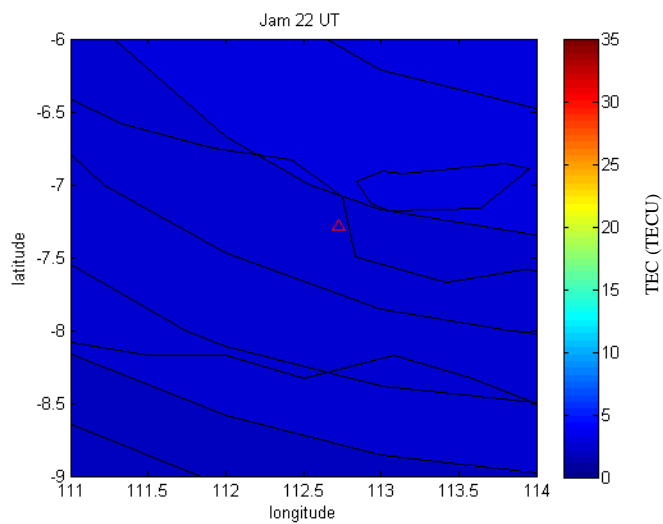
- Jam 20 UT



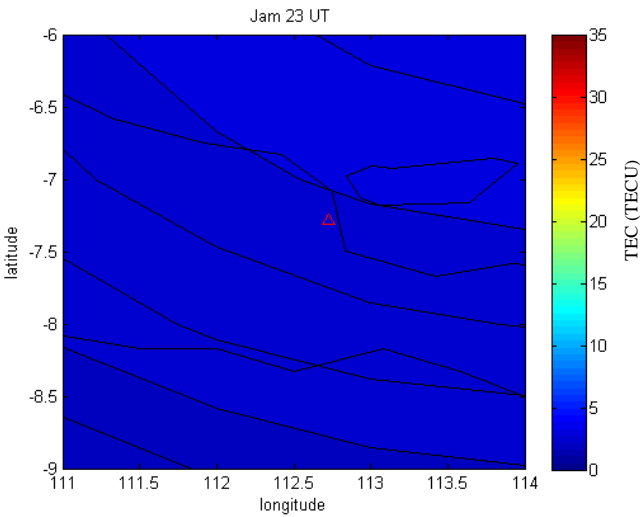
- Jam 21 UT



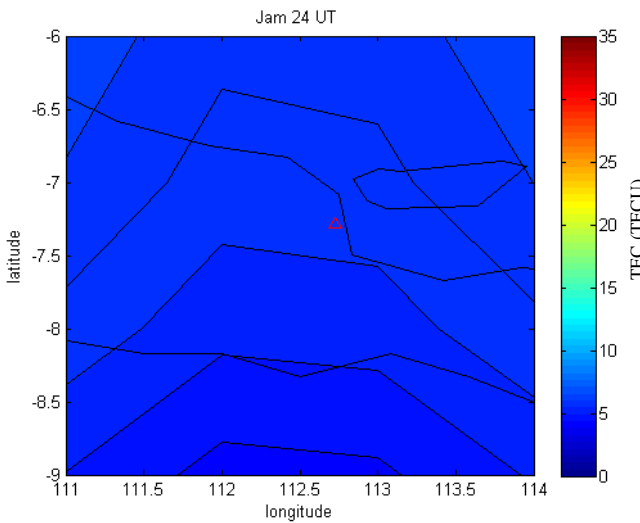
- Jam 22 UT



- Jam 23 UT

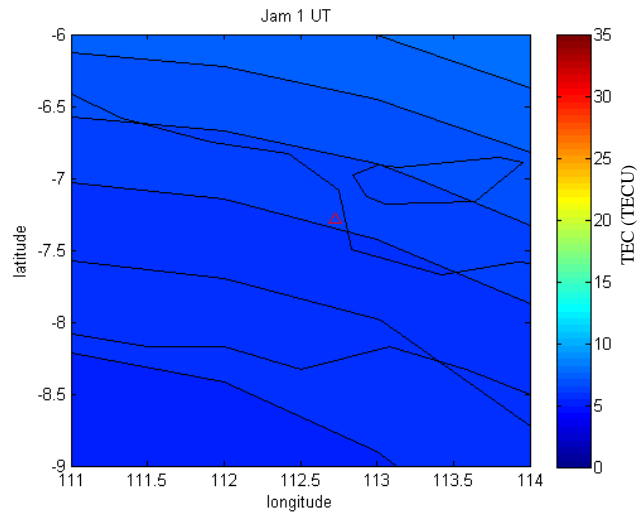


- Jam 24 UT

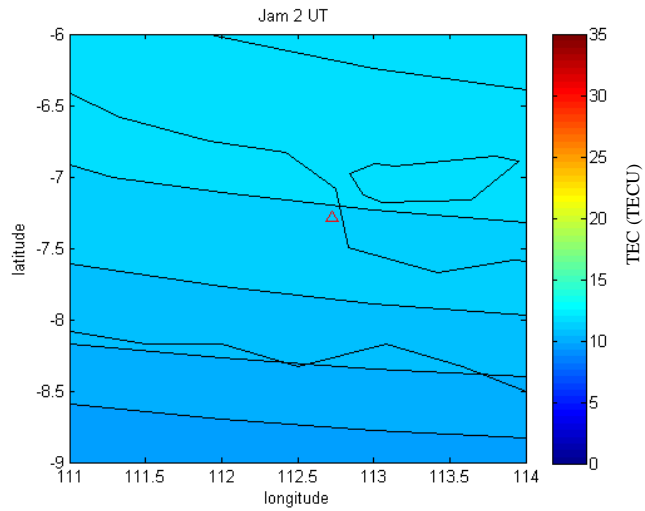


b. Model VTEC tanggal 9 Februari 2018

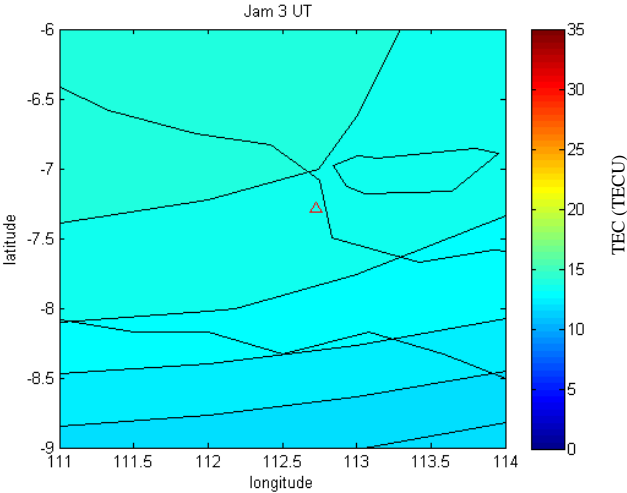
- Jam 1 UT



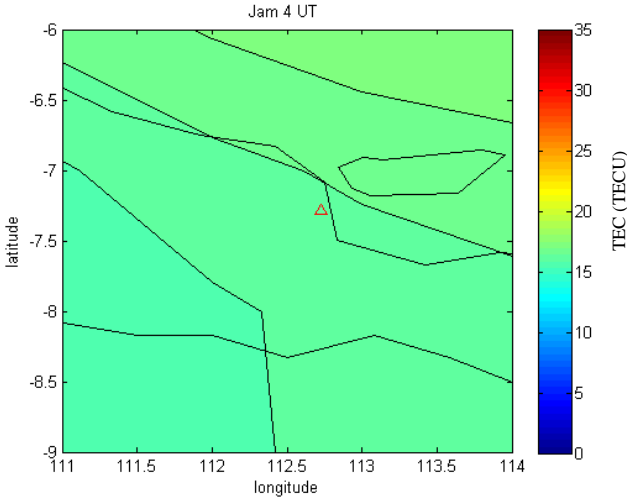
- Jam 2 UT



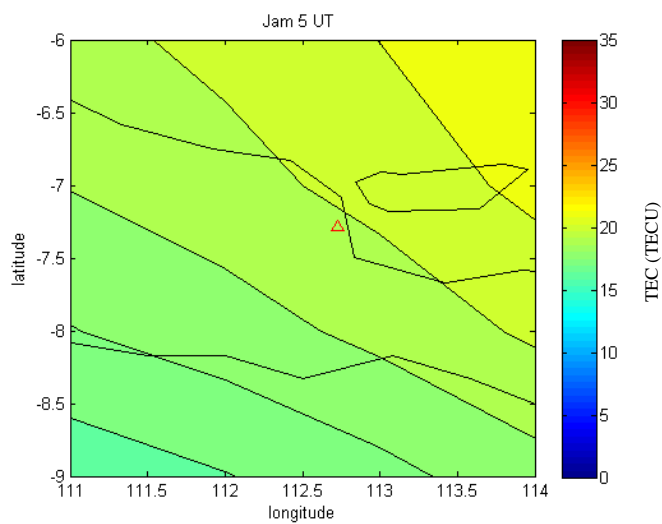
- Jam 3 UT



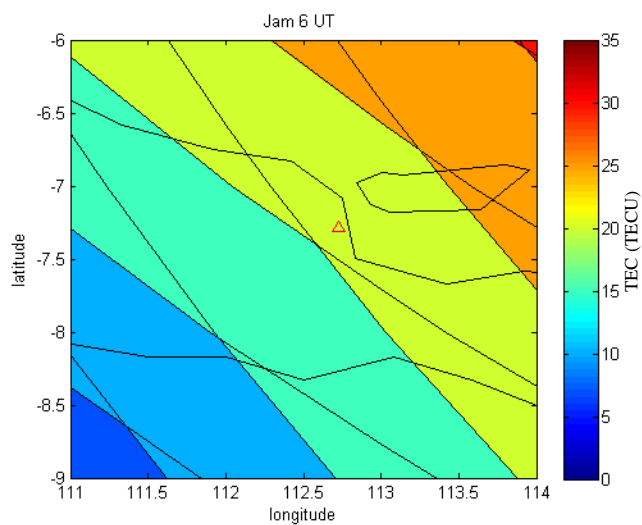
- Jam 4 UT



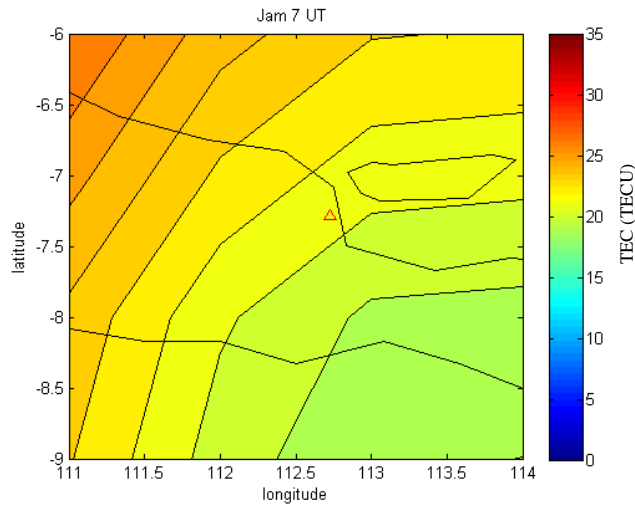
- Jam 5 UT



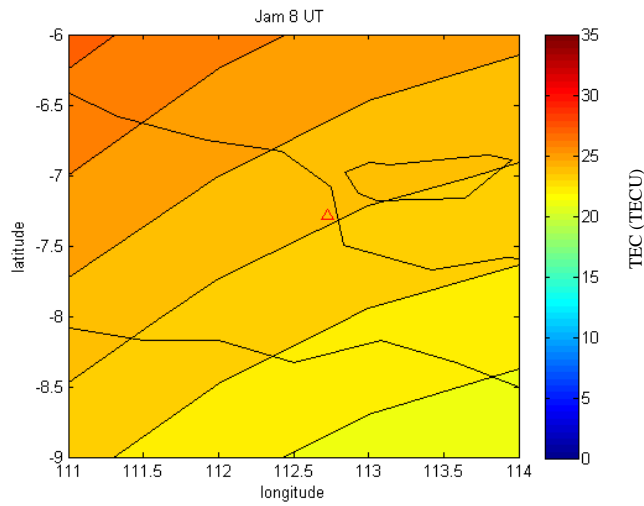
- Jam 6 UT



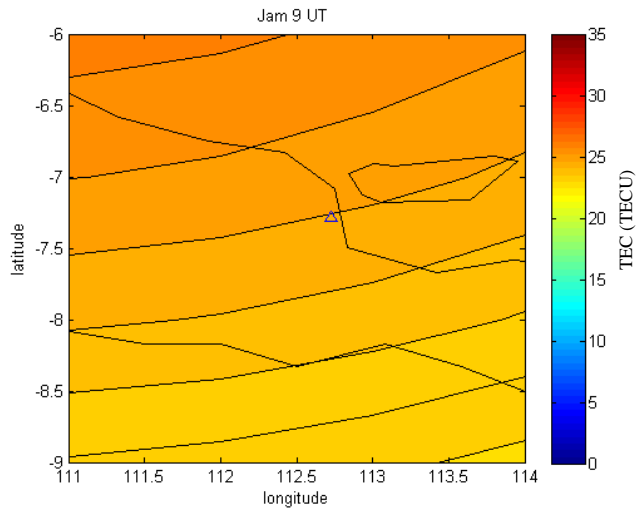
- Jam 7 UT



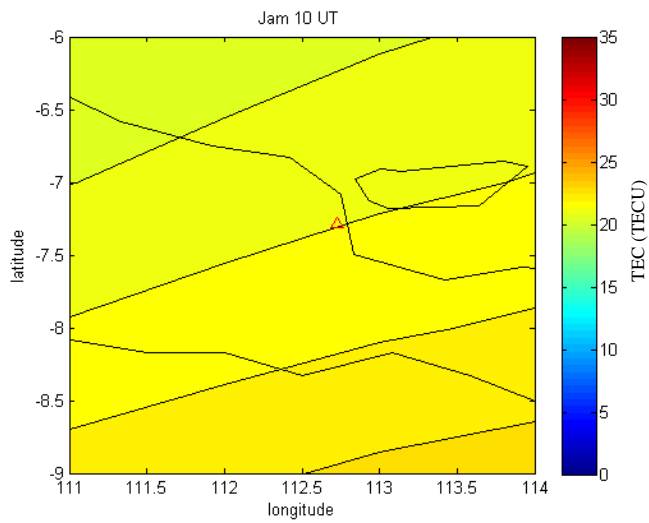
- Jam 8 UT



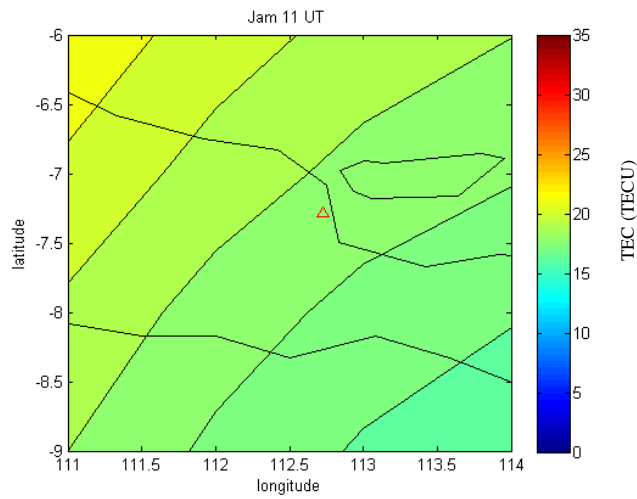
- Jam 9 UT



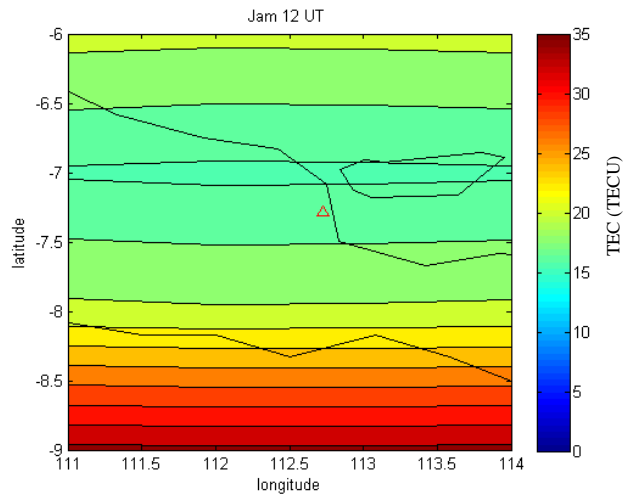
- Jam 10 UT



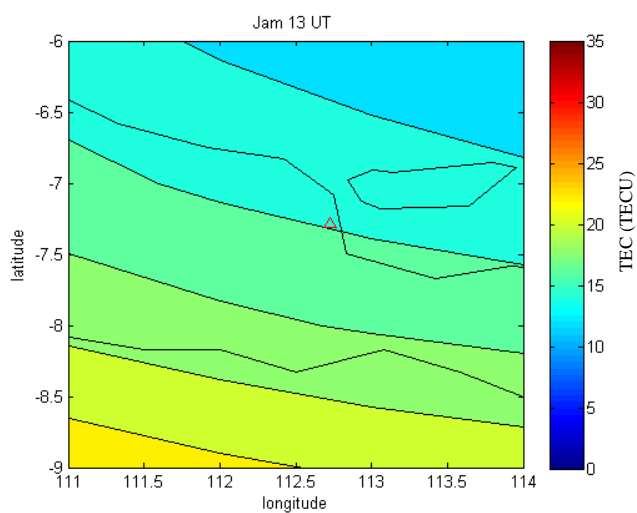
- Jam 11 UT



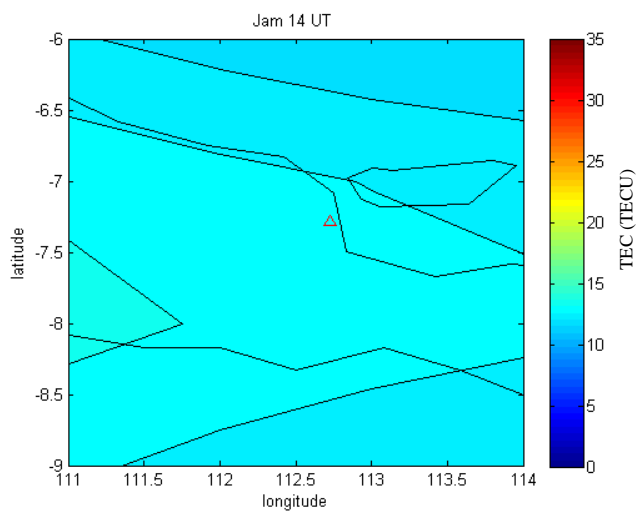
- Jam 12 UT



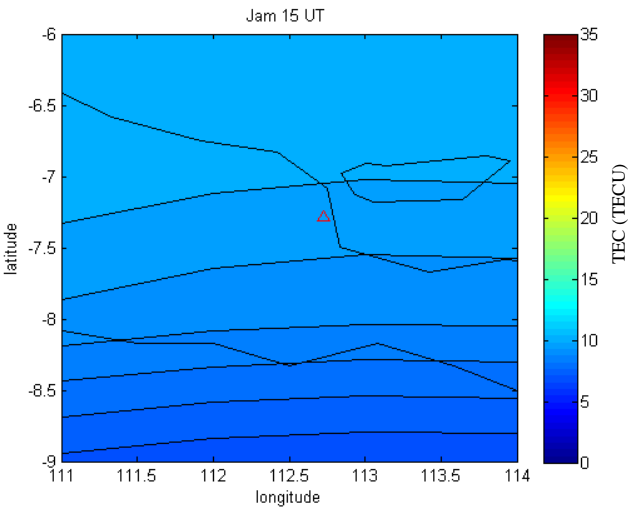
- Jam 13 UT



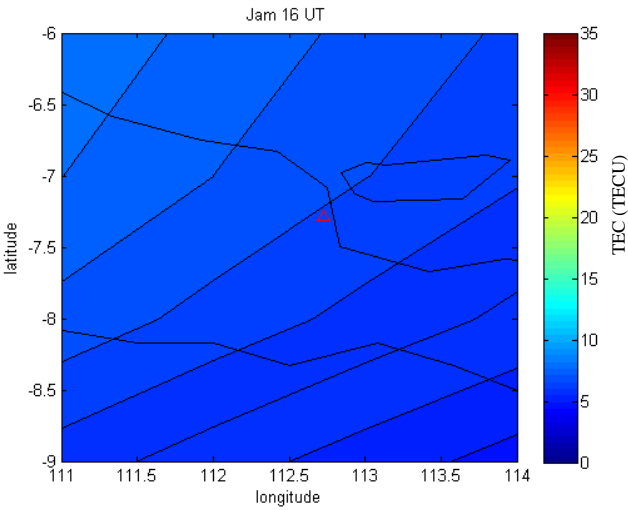
- Jam 14 UT



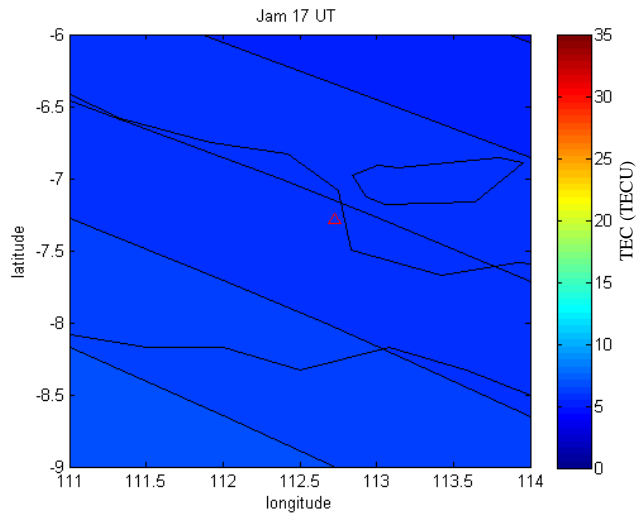
- Jam 15 UT



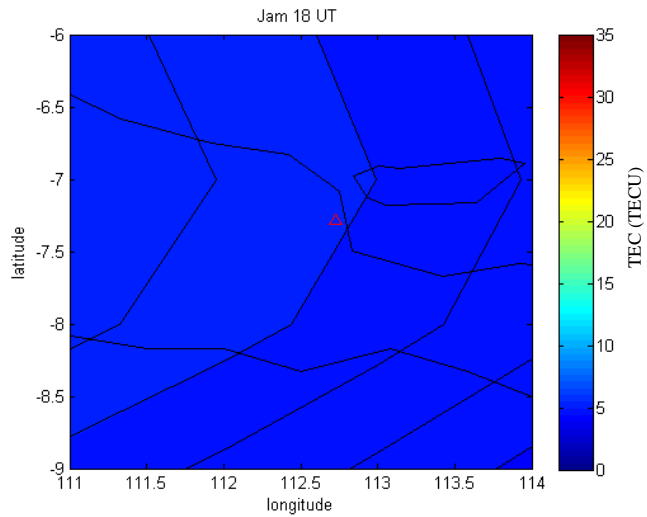
- Jam 16 UT



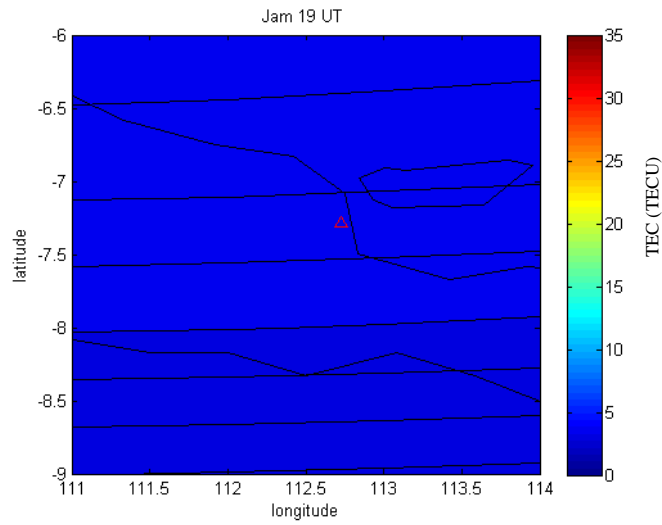
- Jam 17 UT



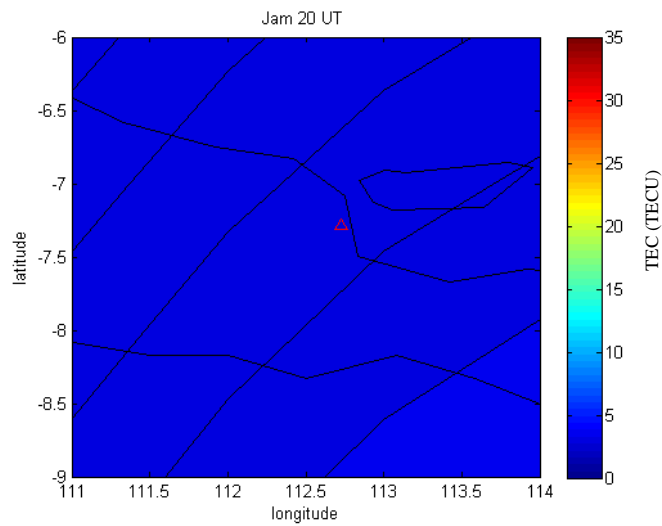
- Jam 18 UT



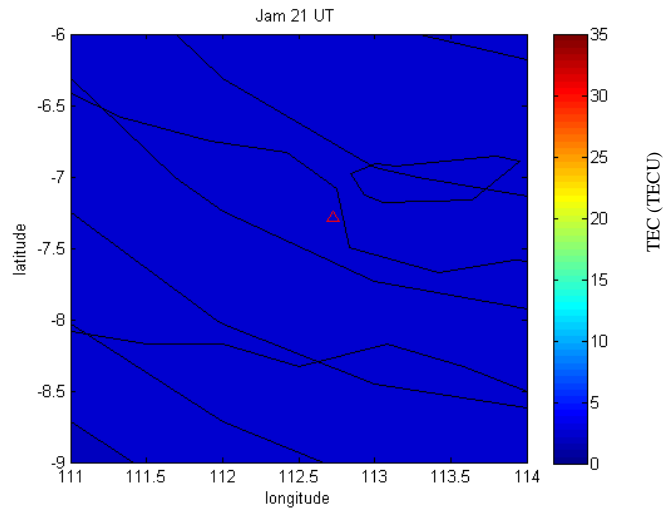
- Jam 19 UT



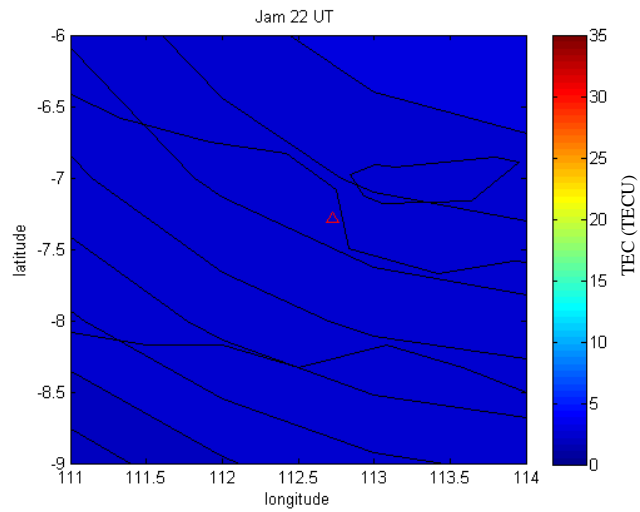
- Jam 20 UT



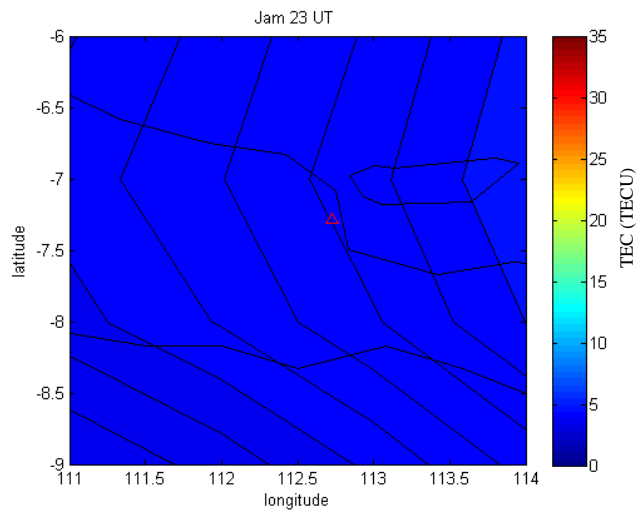
- Jam 21 UT



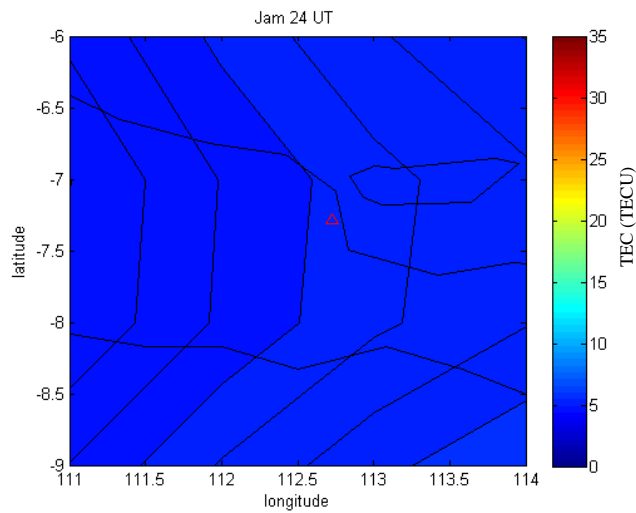
- Jam 22 UT



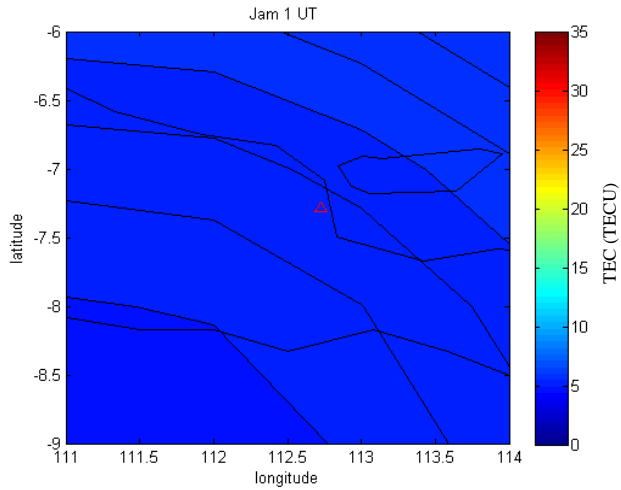
- Jam 23 UT



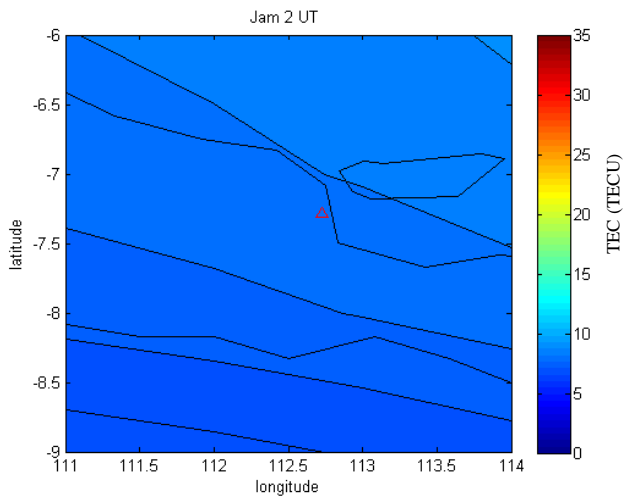
- Jam 24 UT



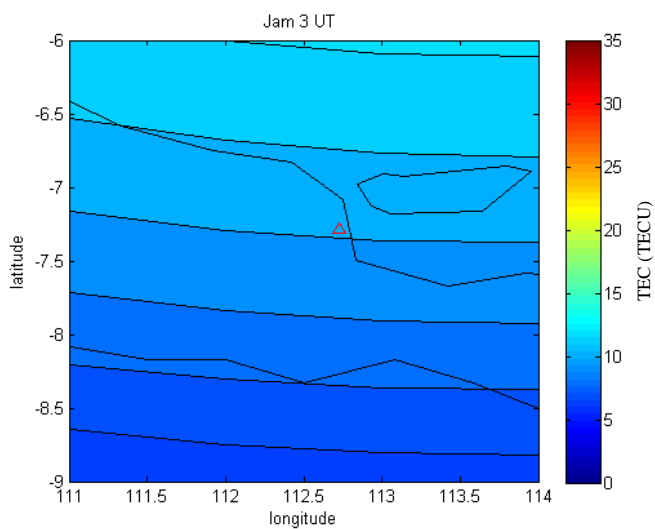
- Model VTEC tanggal 10 Februari 2018
- Jam 1 UT



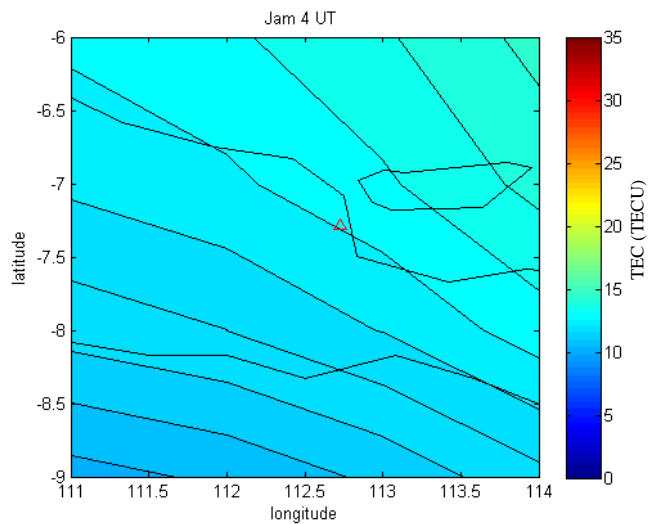
- Jam 2 UT



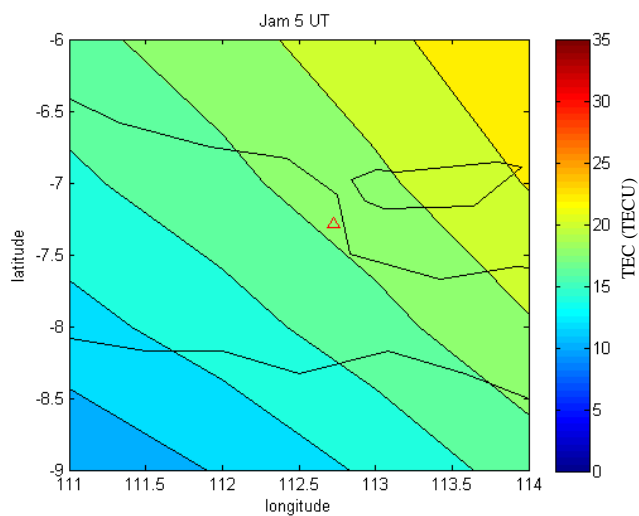
- Jam 3 UT



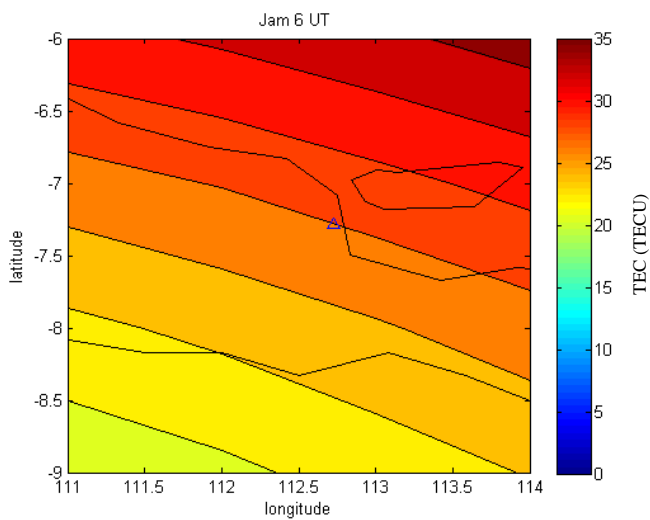
- Jam 4 UT



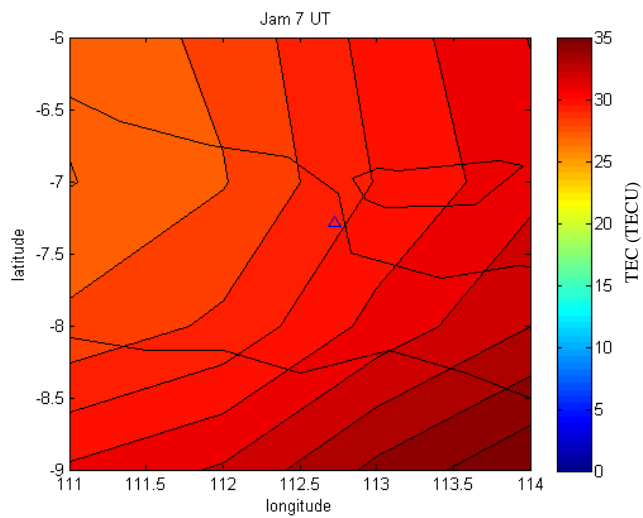
- Jam 5 UT



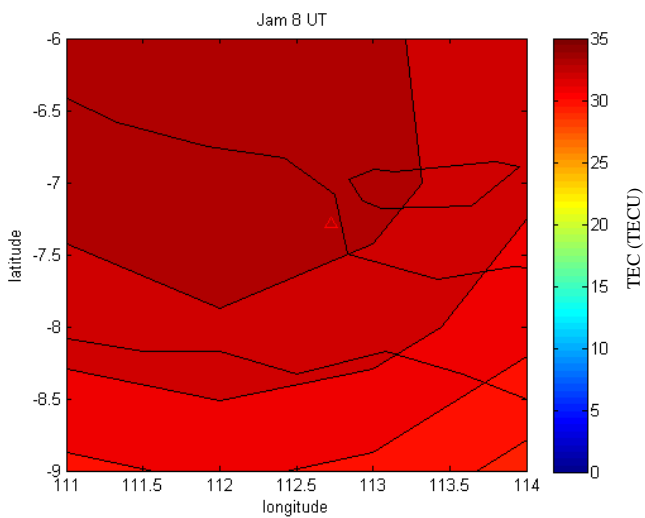
- Jam 6 UT



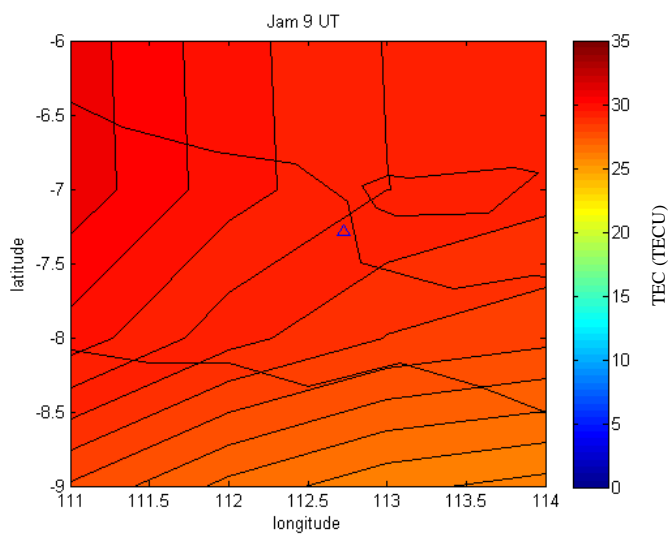
- Jam 7 UT



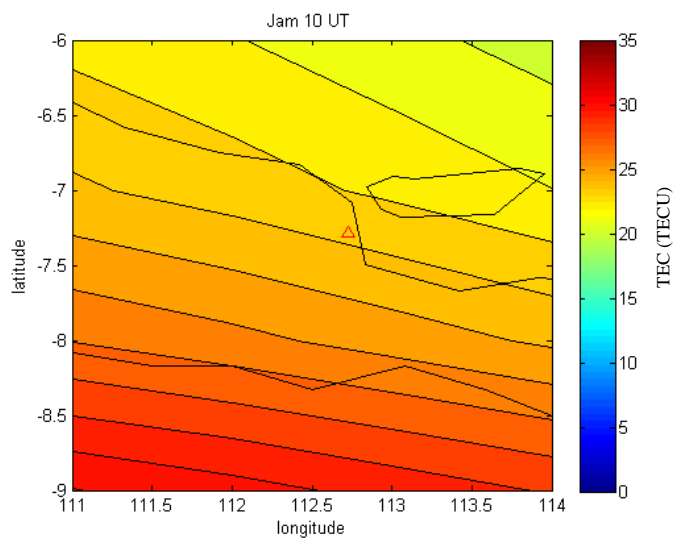
- Jam 8 UT



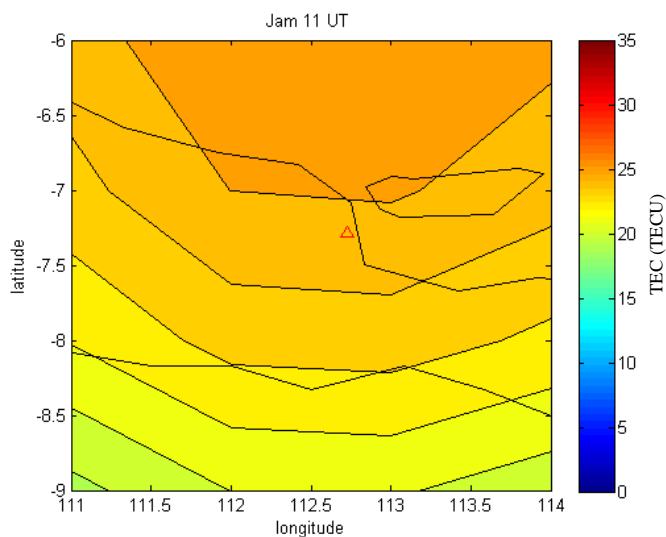
- Jam 9 UT



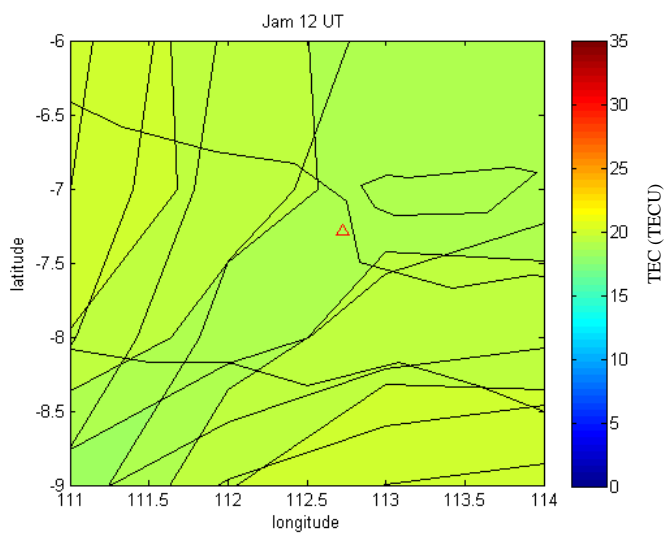
- Jam 10 UT



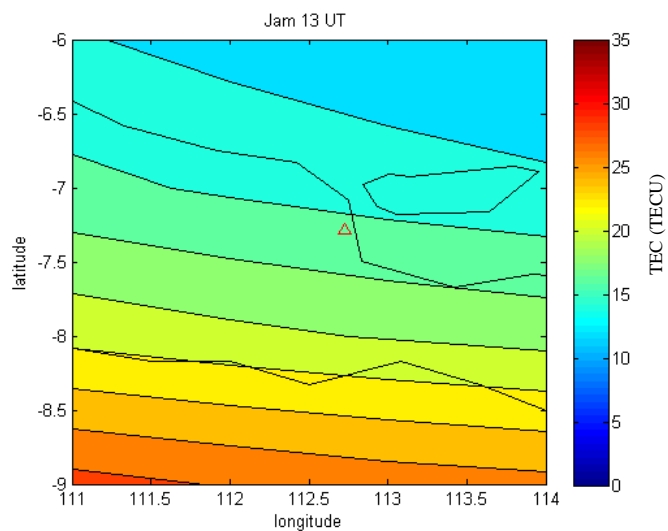
- Jam 11 UT



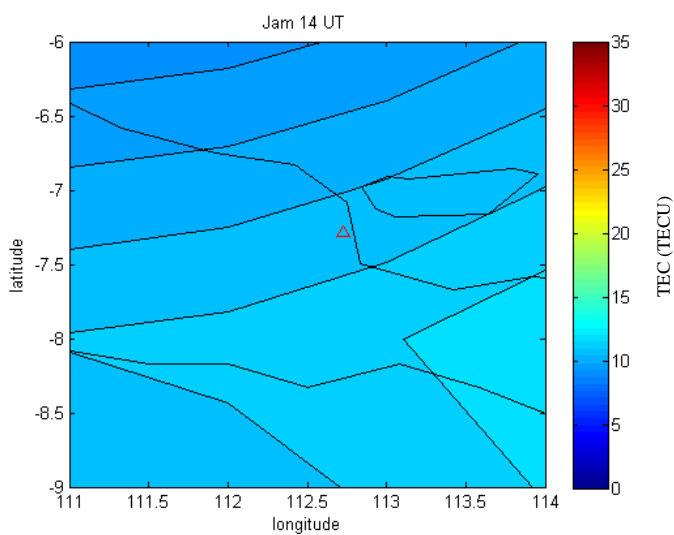
- Jam 12 UT



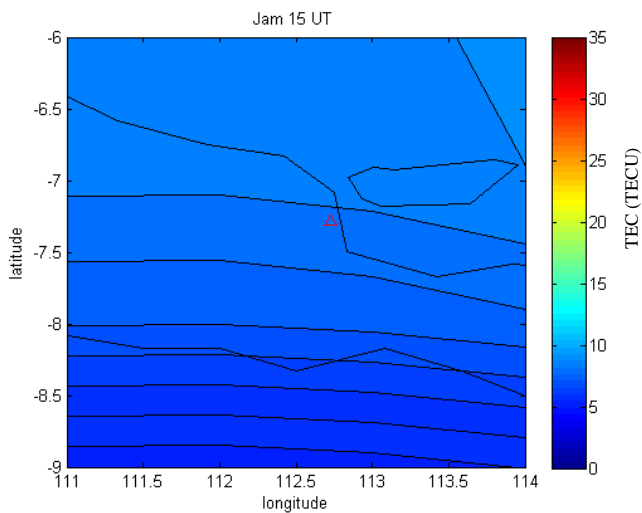
- Jam 13 UT



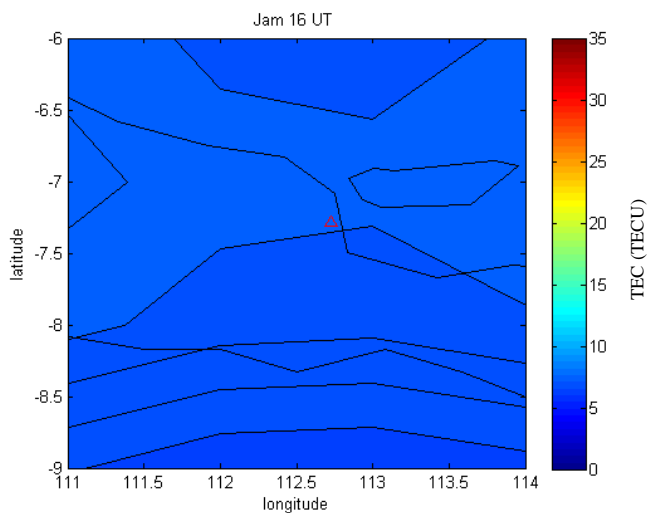
- Jam 14 UT



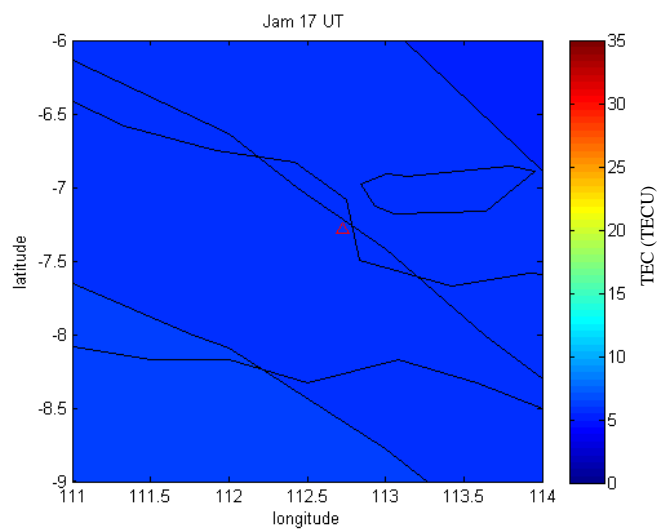
- Jam 15 UT



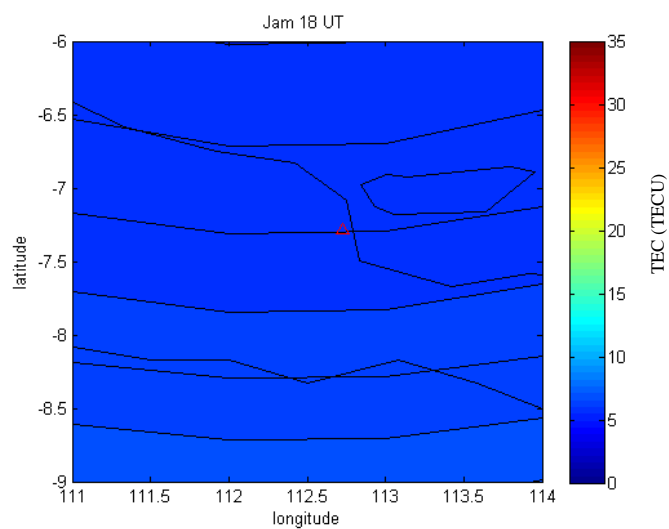
- Jam 16 UT



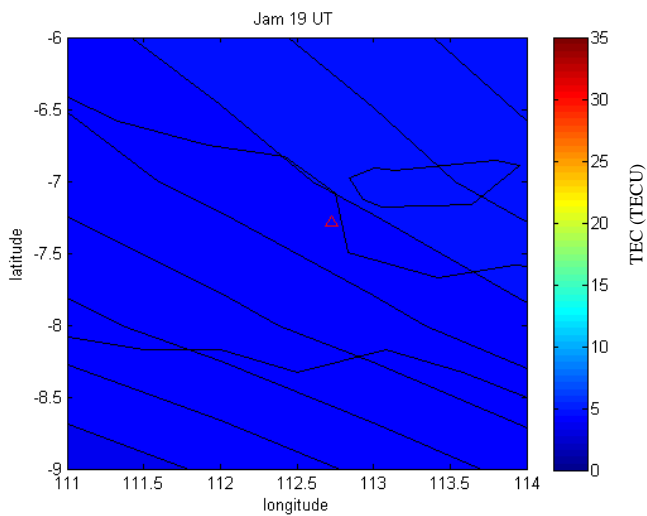
- Jam 17 UT



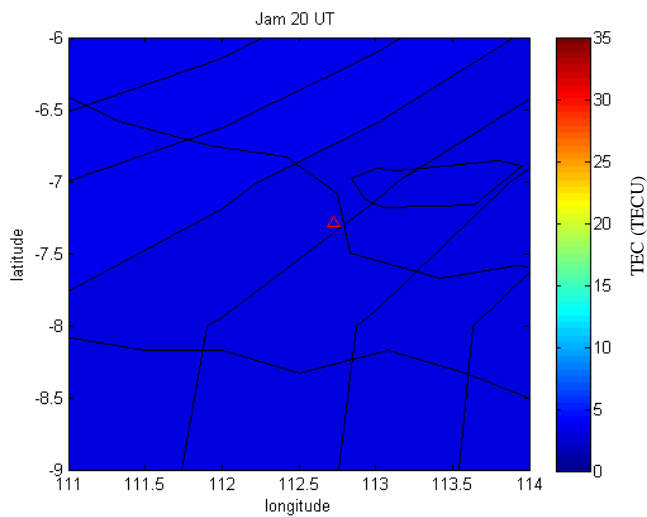
- Jam 18 UT



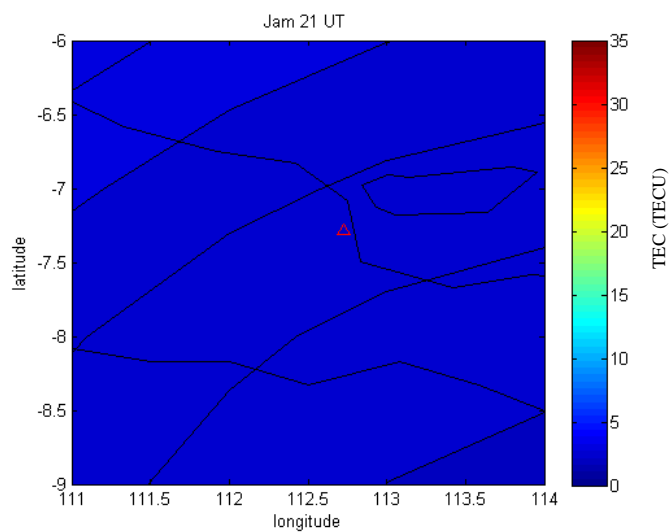
- Jam 19 UT



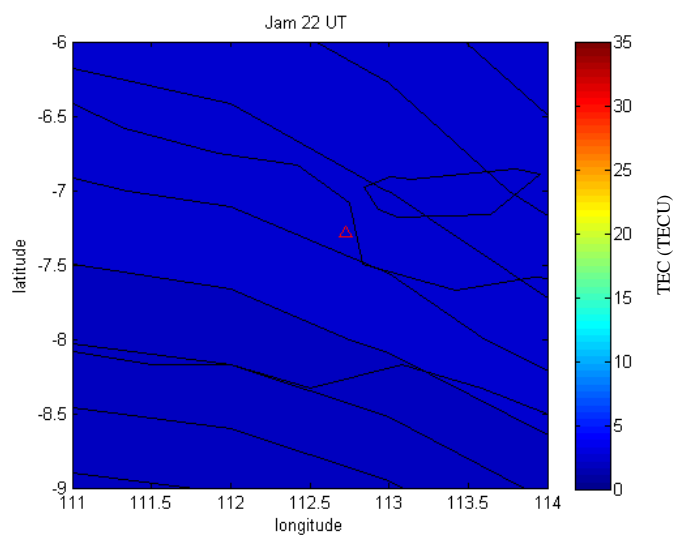
- Jam 20 UT



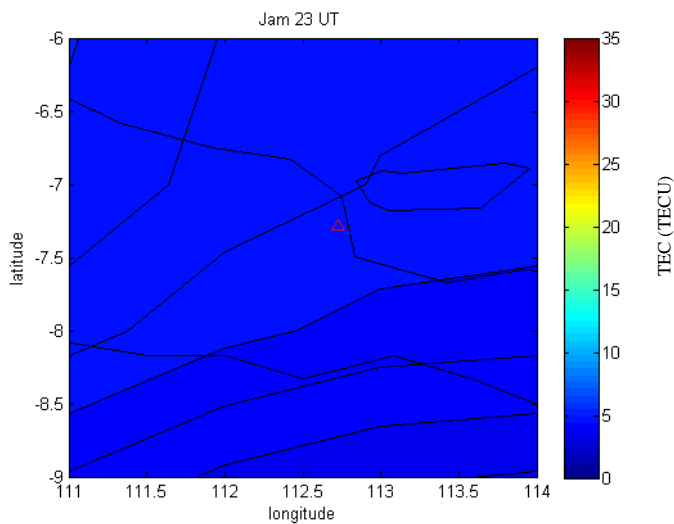
- Jam 21 UT



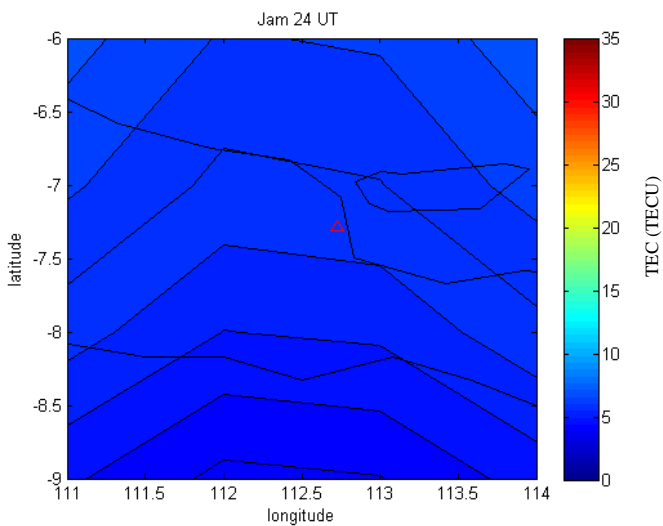
- Jam 22 UT



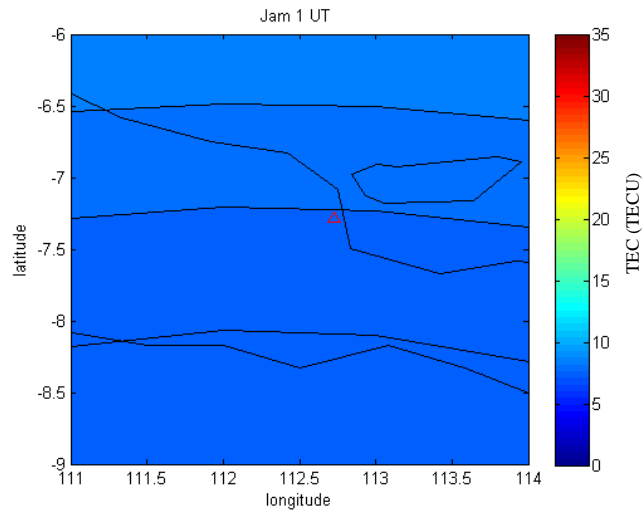
- Jam 23 UT



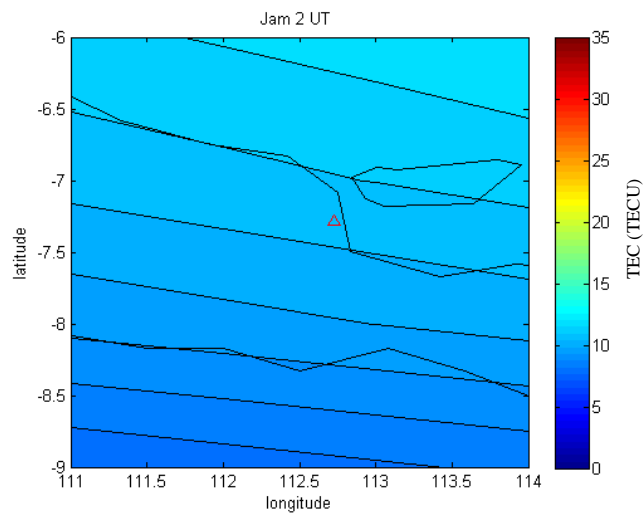
- Jam 24 UT



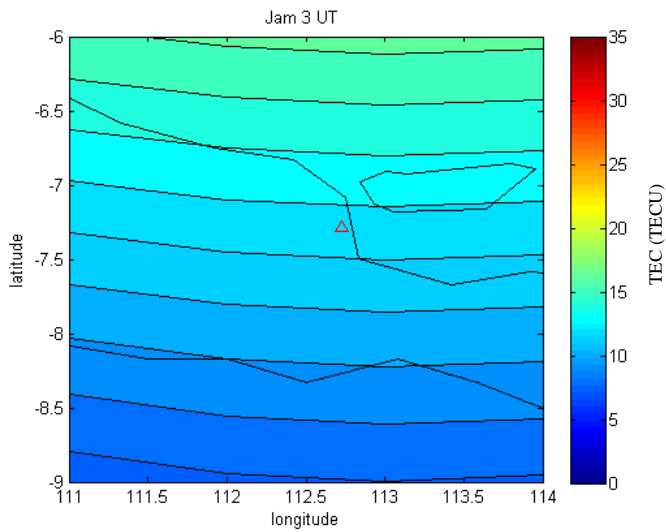
- Model VTEC tanggal 11 Februari 2018
- Jam 1 UT



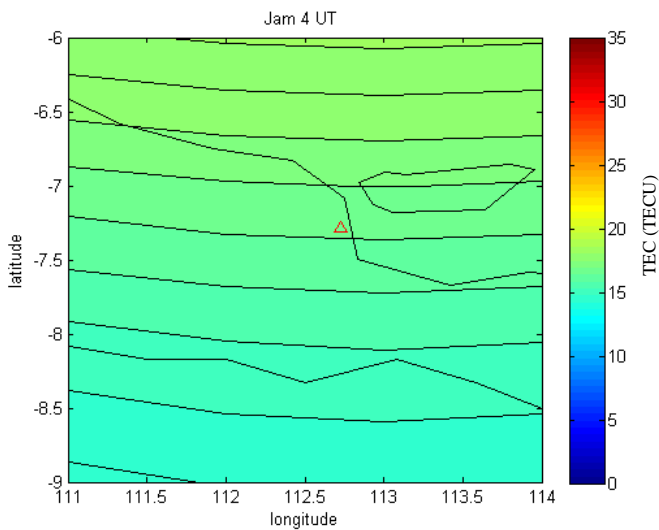
- Jam 2 UT



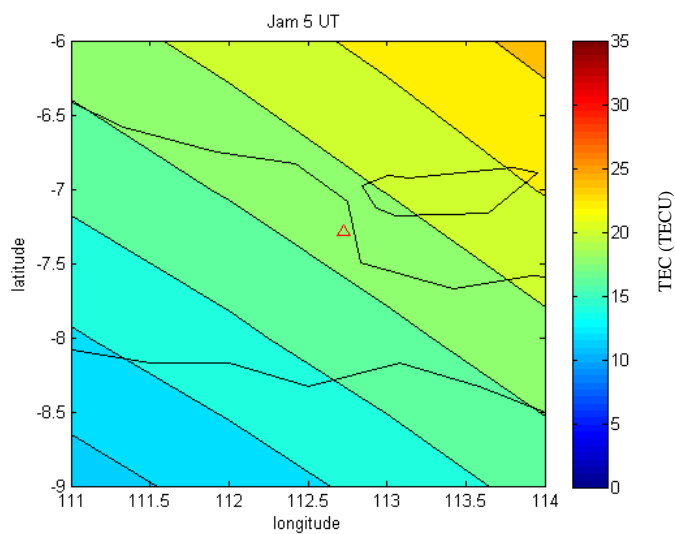
- Jam 3 UT



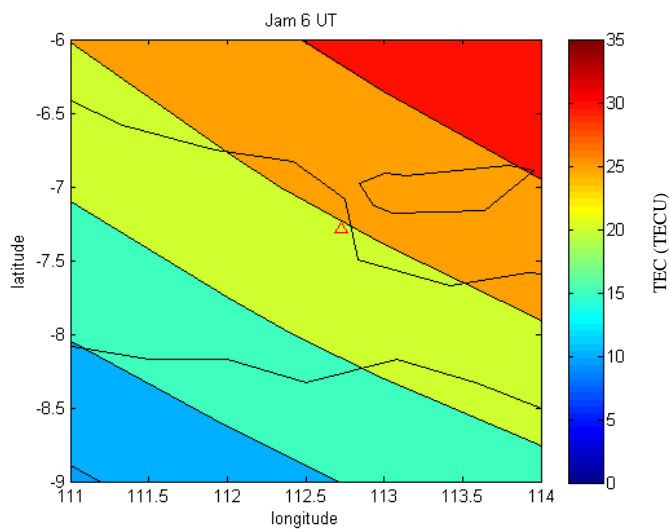
- Jam 4 UT



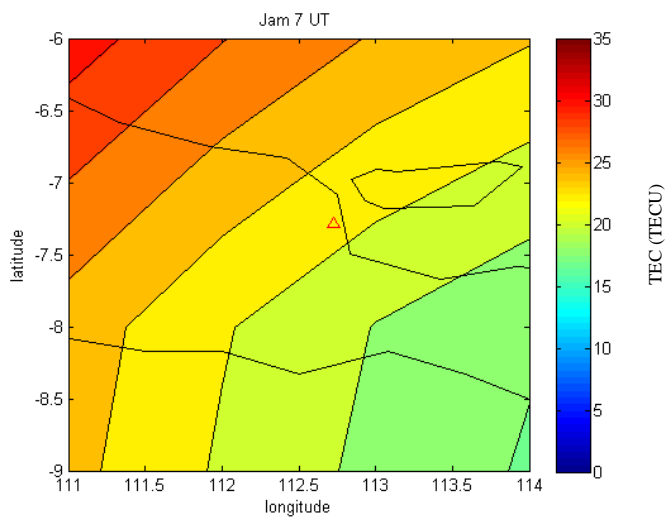
- Jam 5 UT



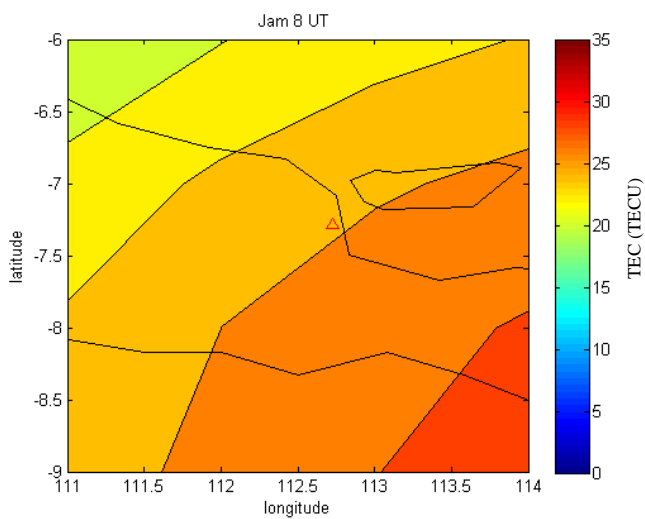
- Jam 6 UT



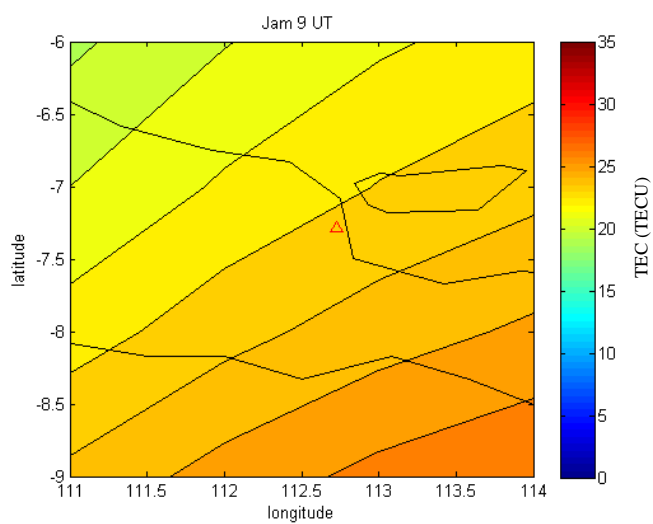
- Jam 7 UT



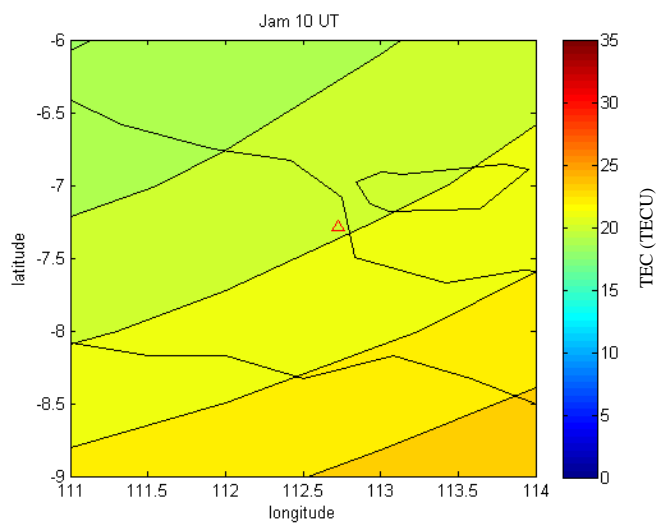
- Jam 8 UT



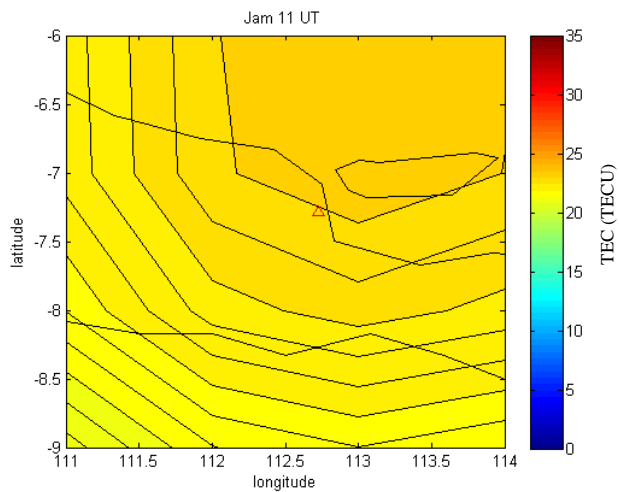
- Jam 9 UT



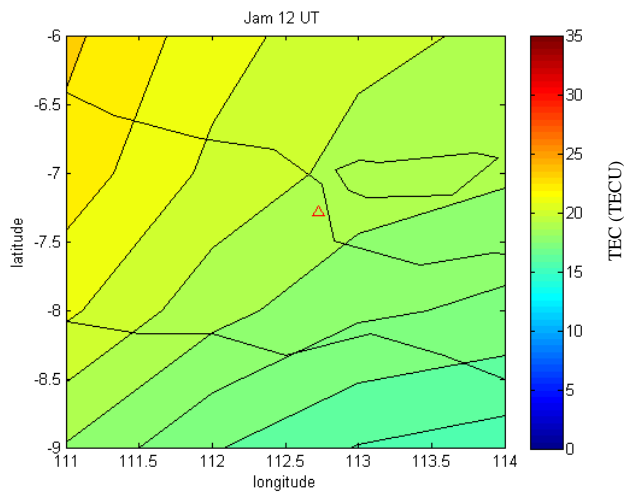
- Jam 10 UT



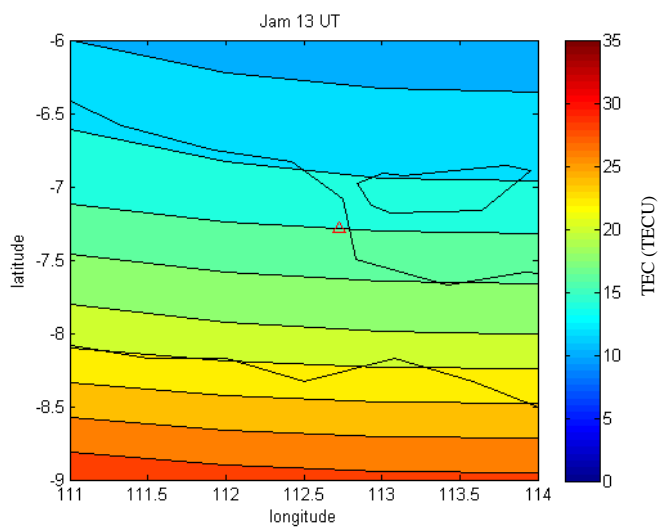
- Jam 11 UT



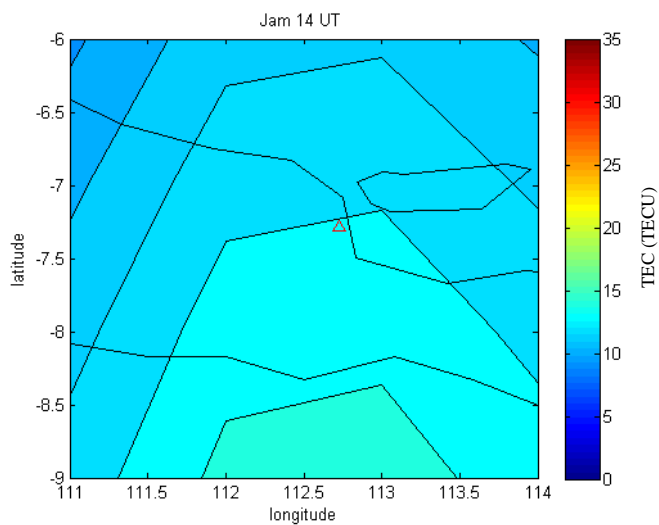
- Jam 12 UT



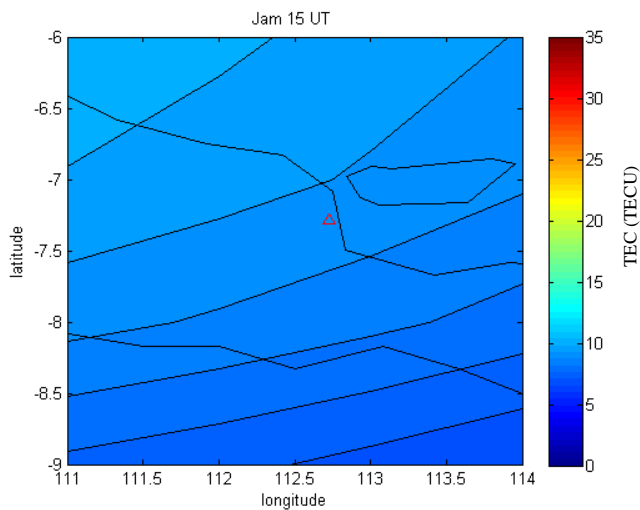
- Jam 13 UT



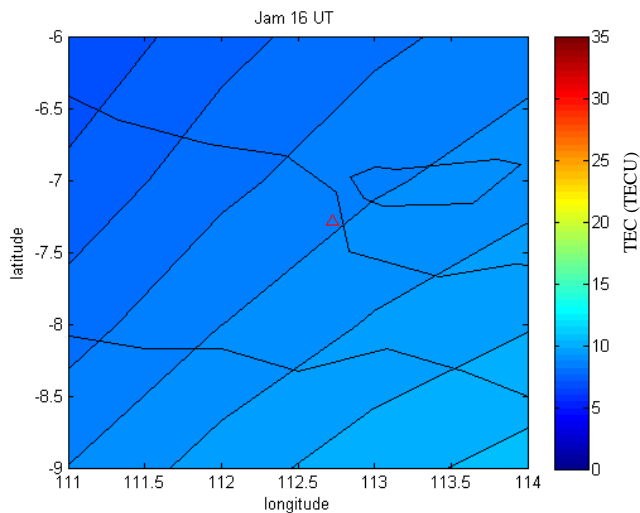
- Jam 14 UT



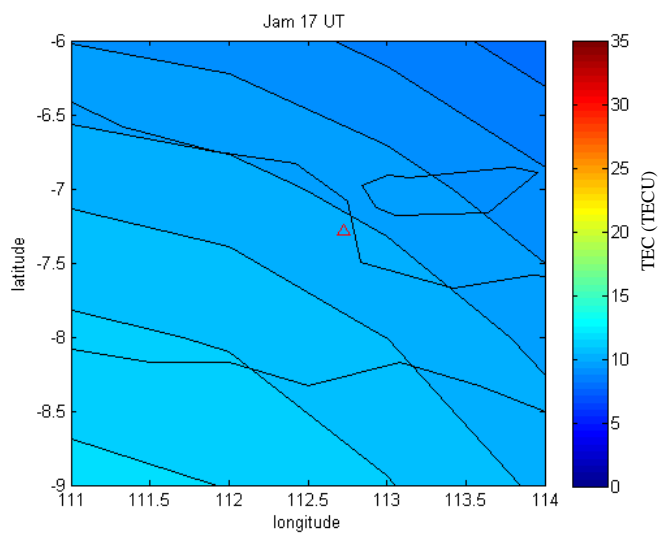
- Jam 15 UT



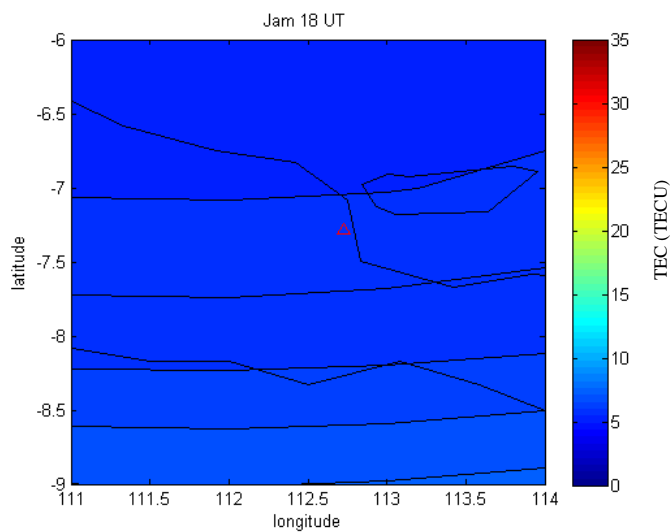
- Jam 16 UT



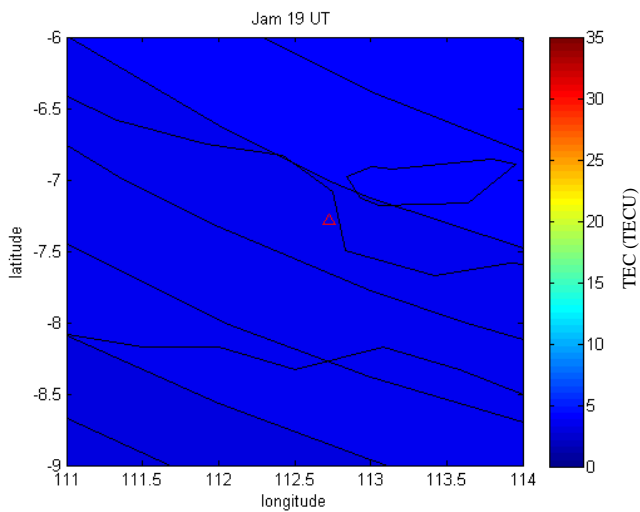
- Jam 17 UT



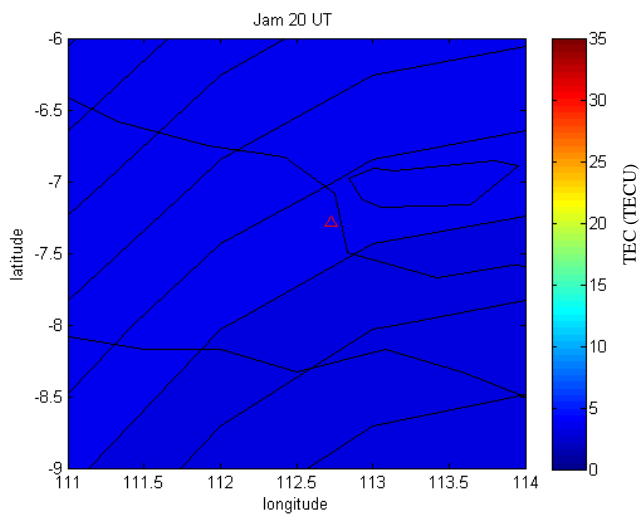
- Jam 18 UT



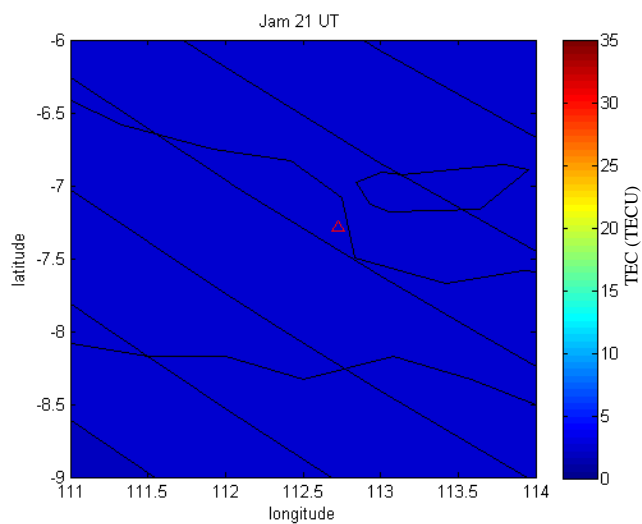
- Jam 19 UT



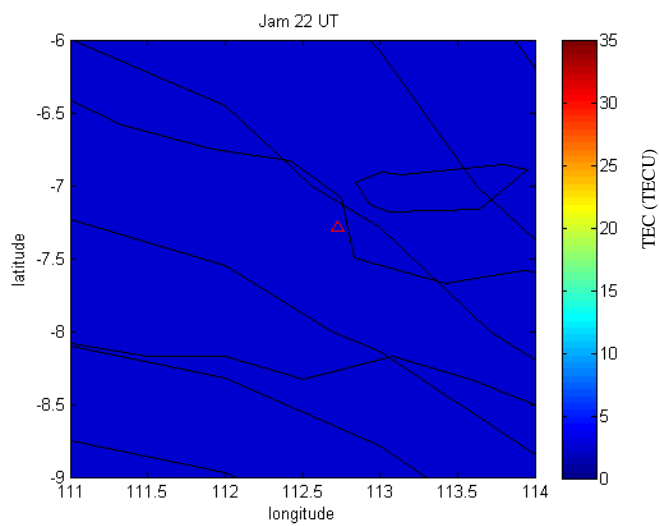
- Jam 20 UT



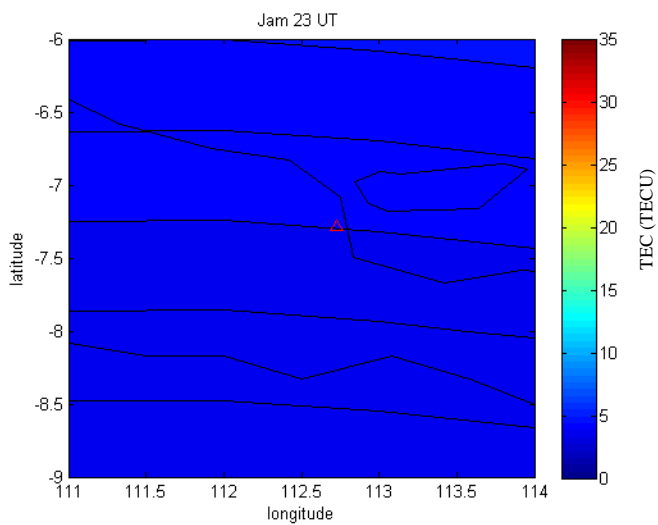
- Jam 21 UT



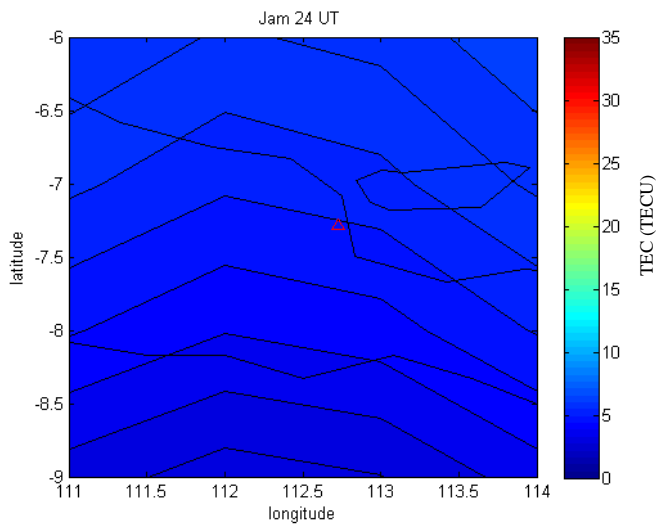
- Jam 22 UT



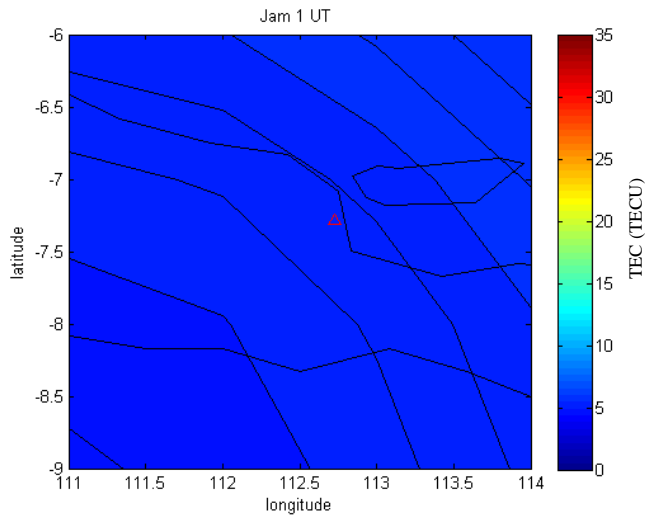
- Jam 23 UT



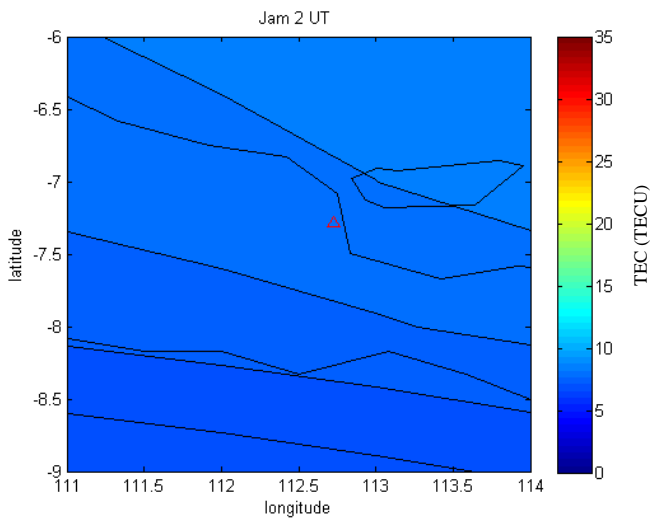
- Jam 24 UT



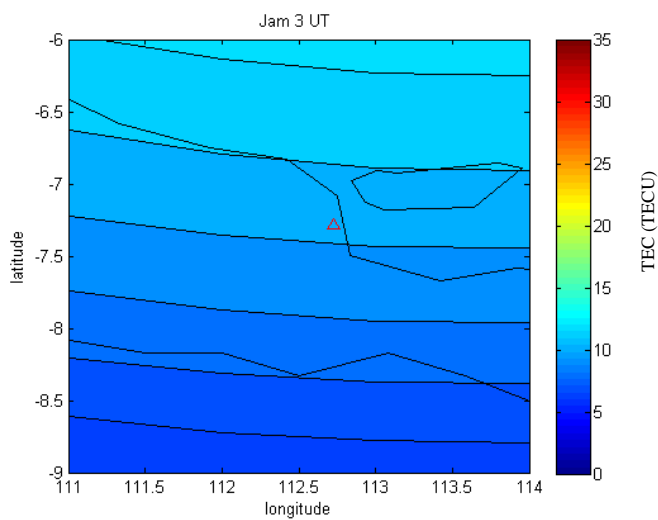
- Model VTEC tanggal 12 Februari 2018
- Jam 1 UT



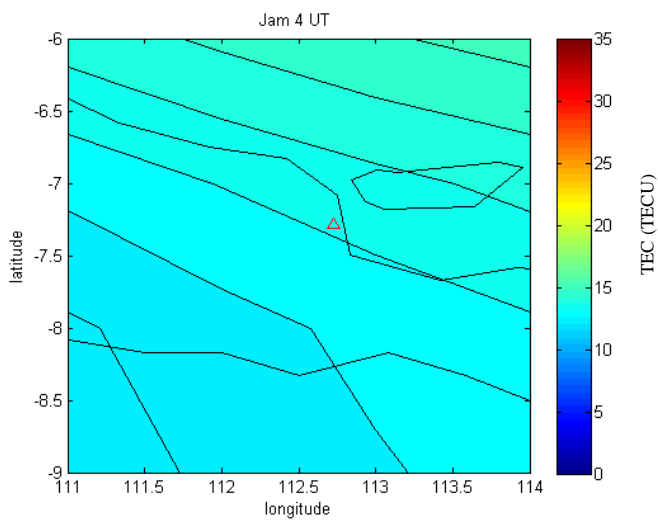
- Jam 2 UT



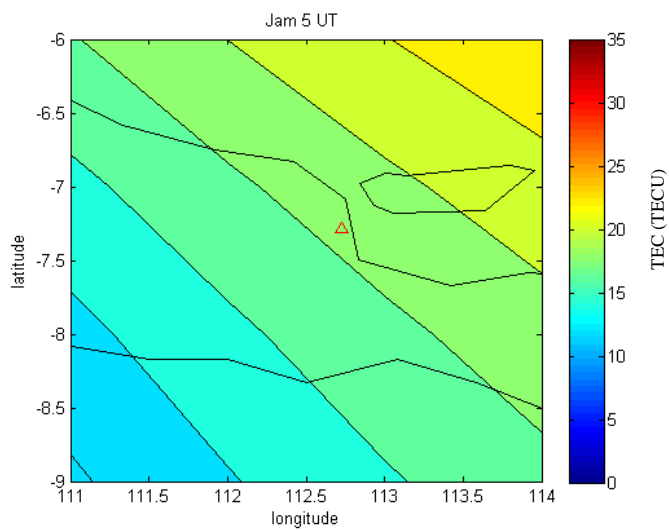
- Jam 3 UT



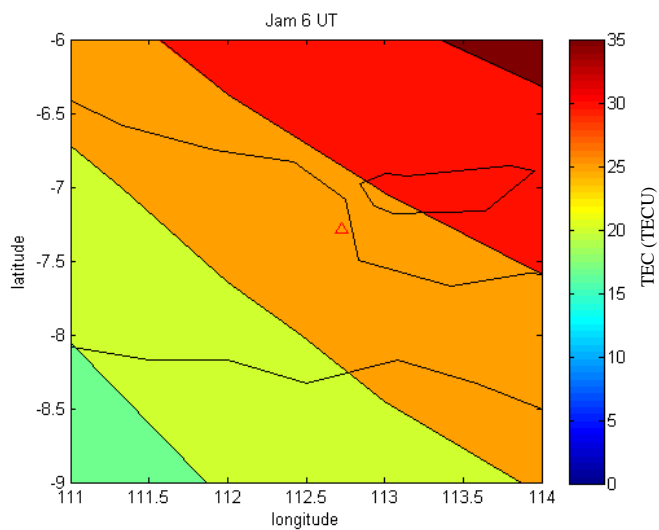
- Jam 4 UT



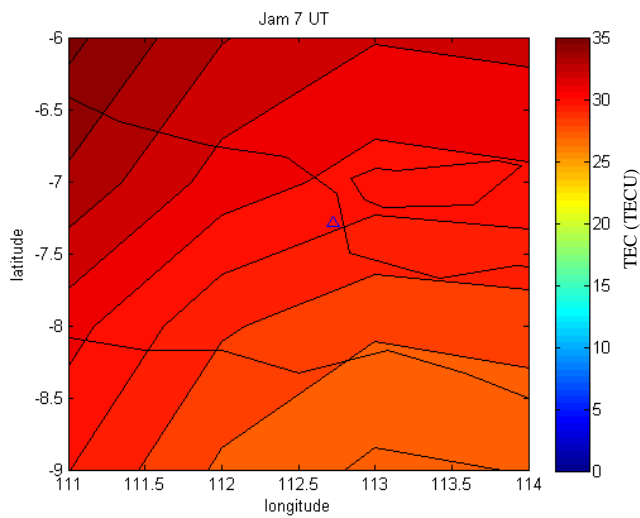
- Jam 5 UT



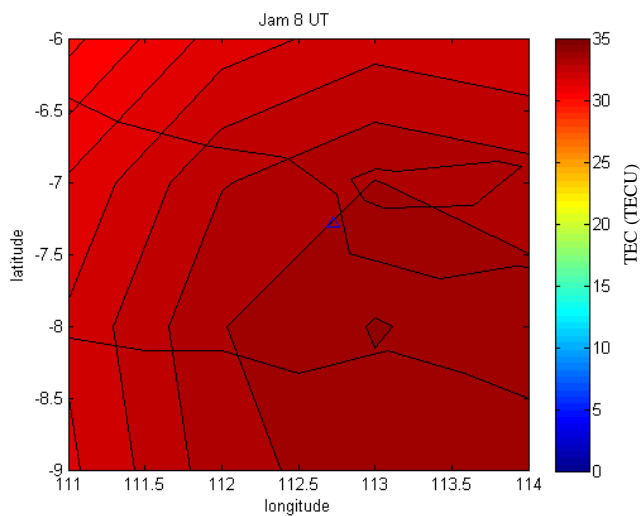
- Jam 6 UT



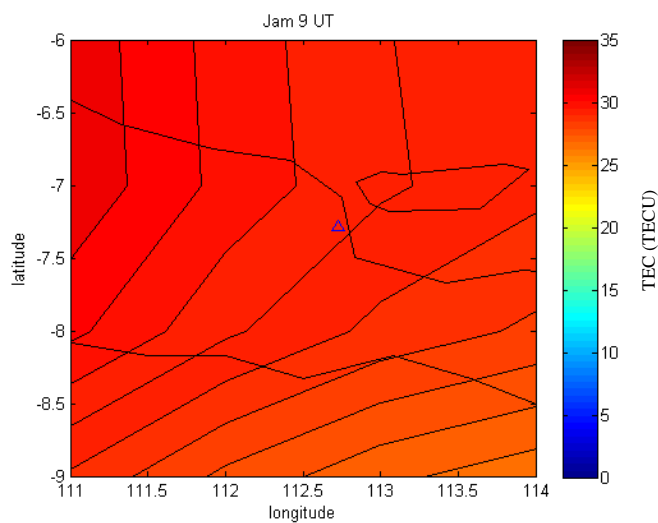
- Jam 7 UT



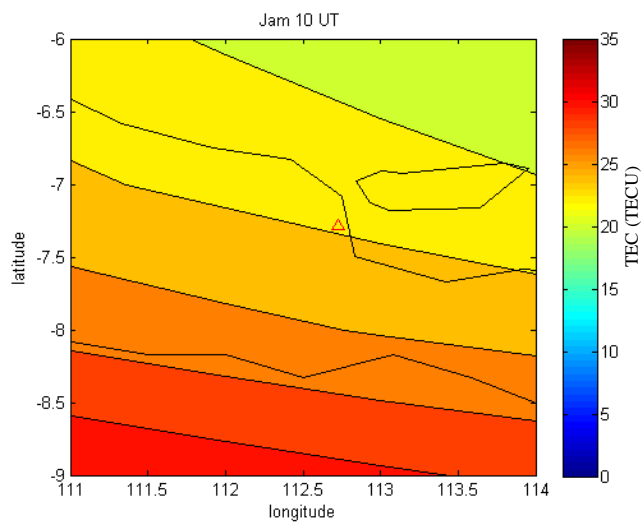
- Jam 8 UT



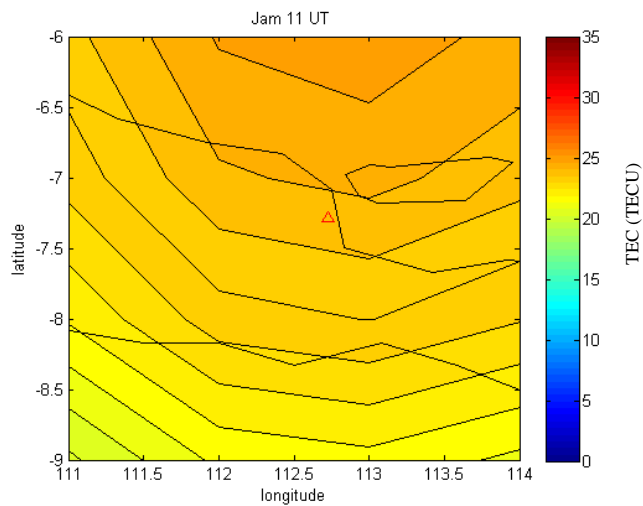
- Jam 9 UT



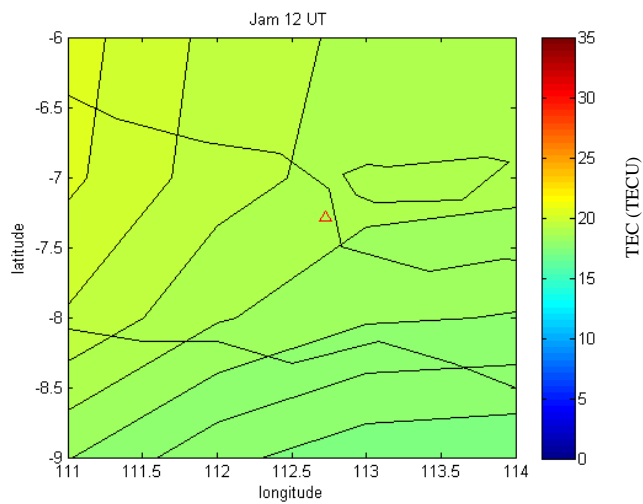
- Jam 10 UT



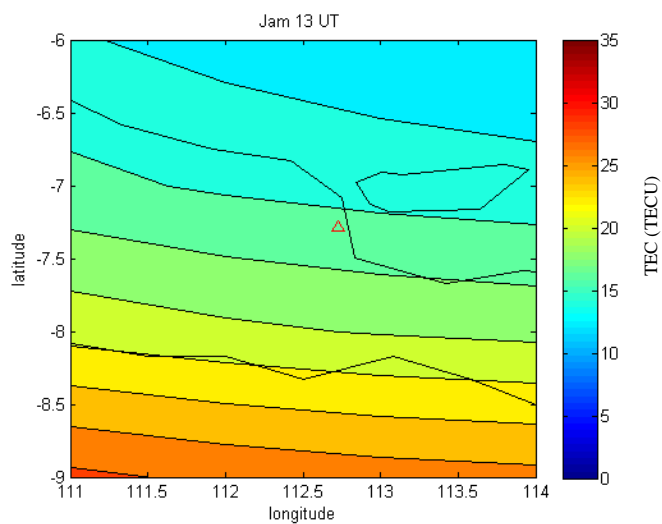
- Jam 11 UT



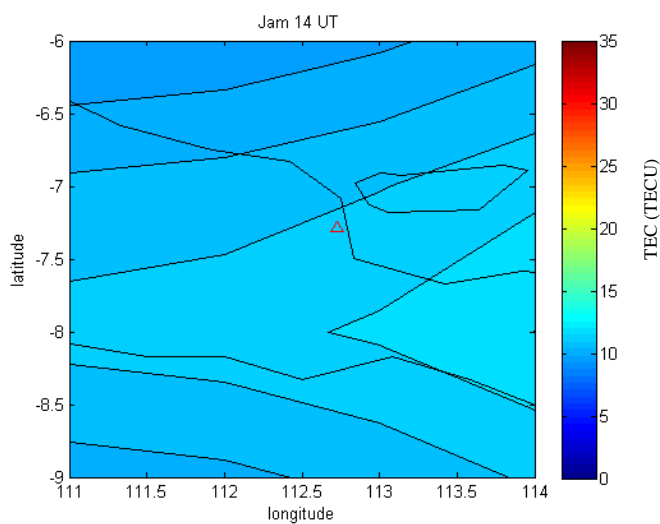
- Jam 12 UT



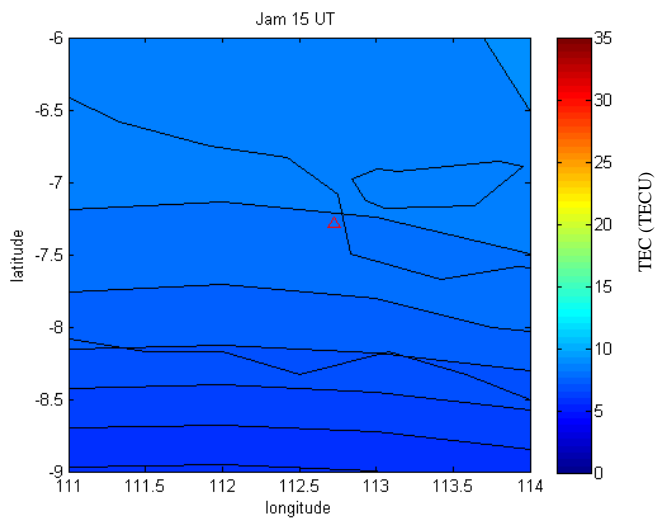
- Jam 13 UT



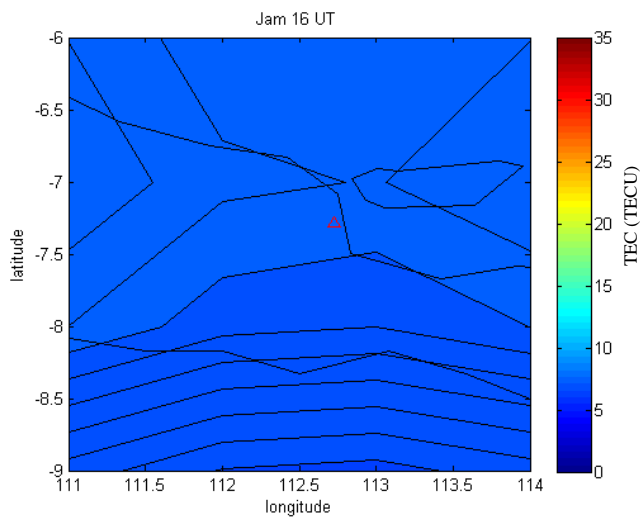
- Jam 14 UT



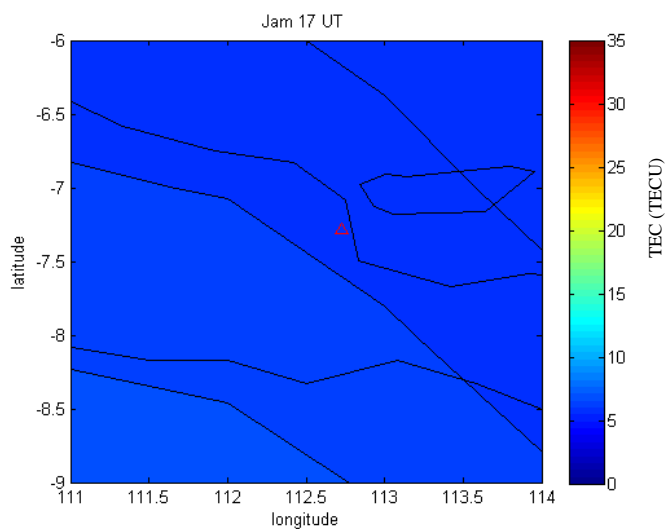
- Jam 15 UT



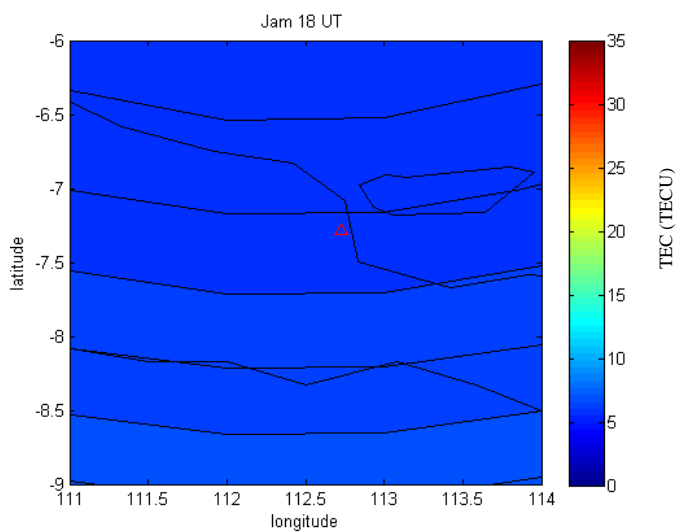
- Jam 16 UT



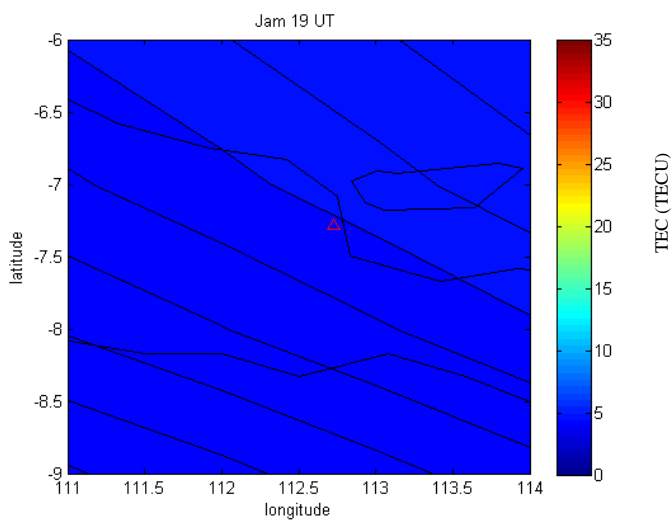
- Jam 17 UT



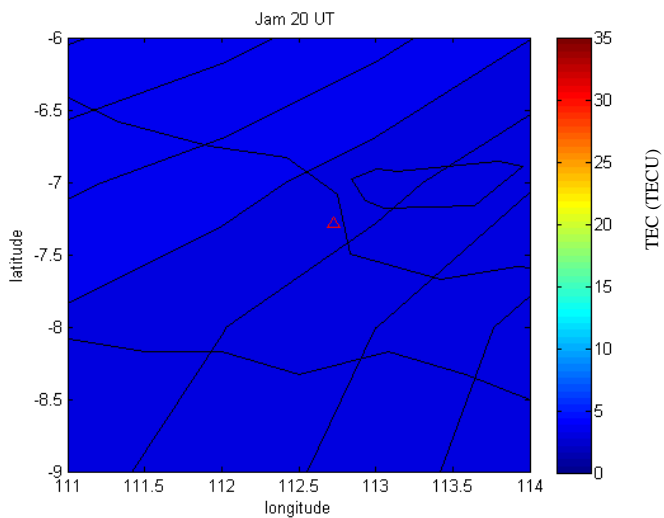
- Jam 18 UT



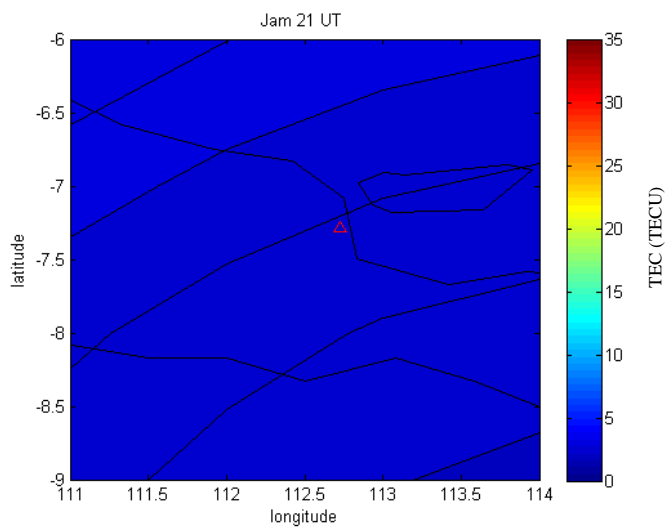
- Jam 19 UT



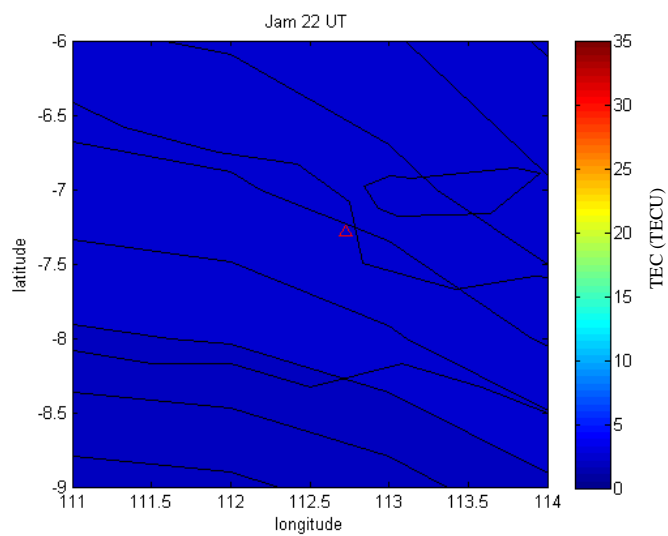
- Jam 20 UT



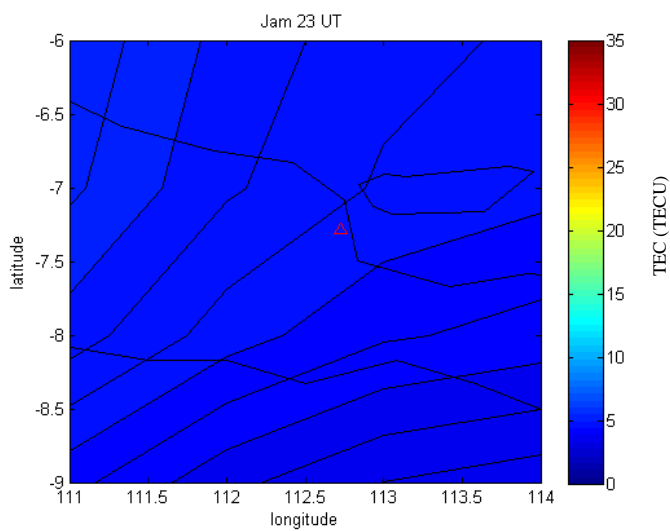
- Jam 21 UT



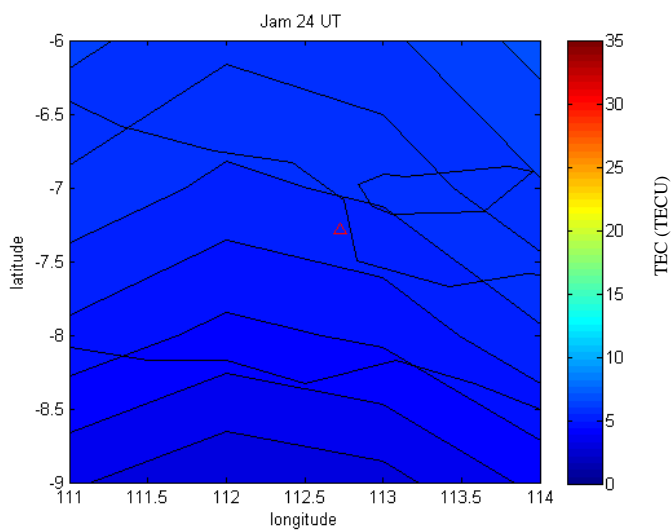
- Jam 22 UT



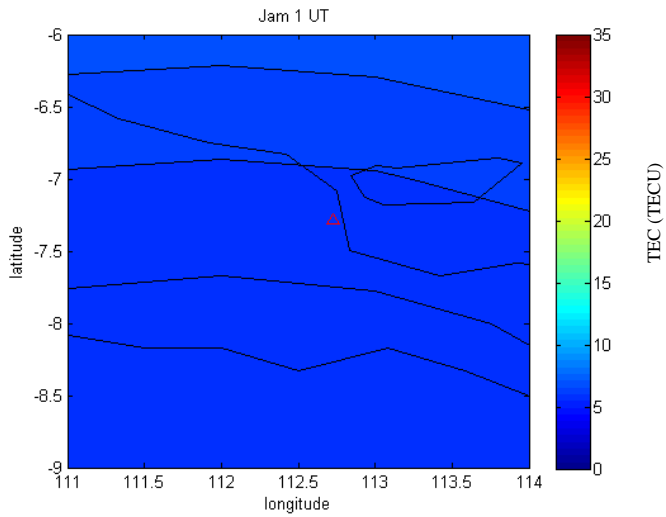
- Jam 23 UT



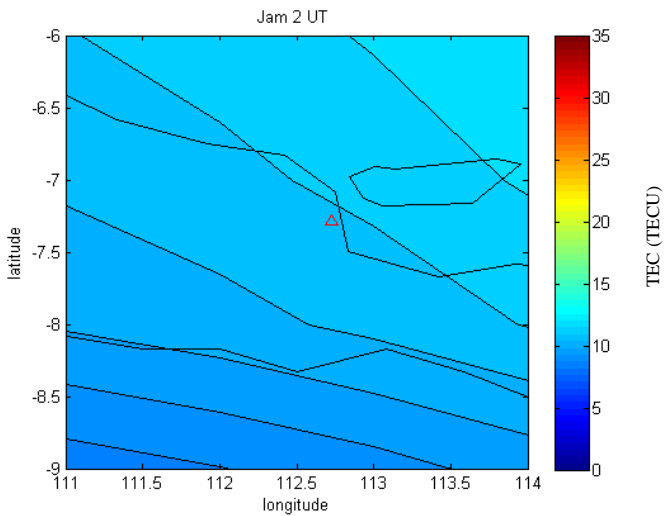
- Jam 24 UT



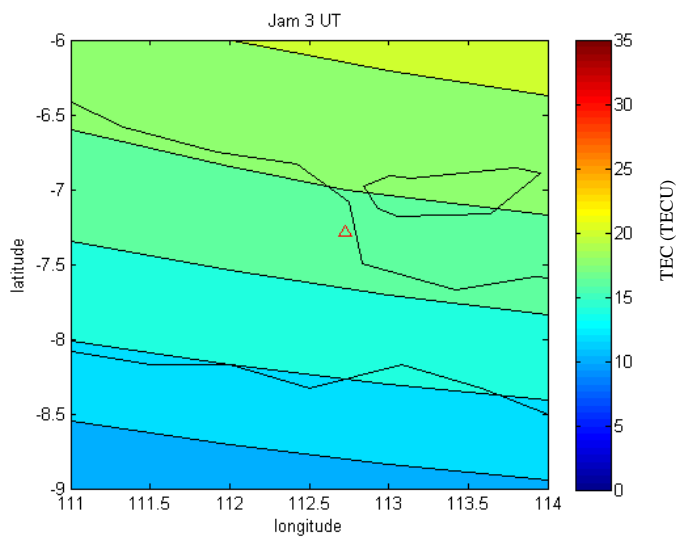
- Model VTEC tanggal 13 Februari 2018
- Jam 1 UT



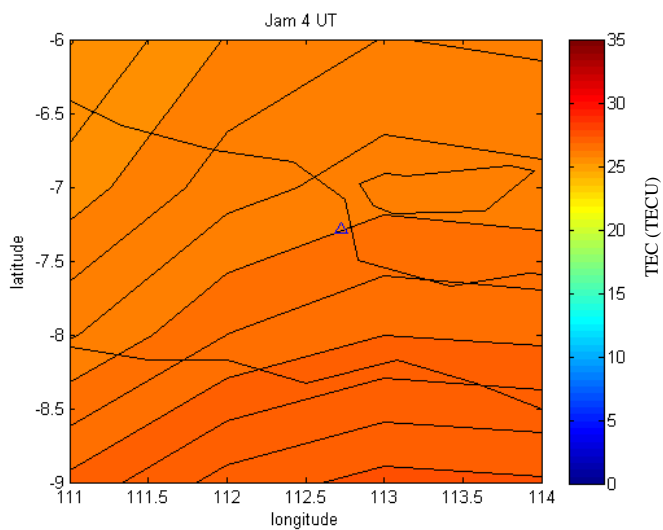
- Jam 2 UT



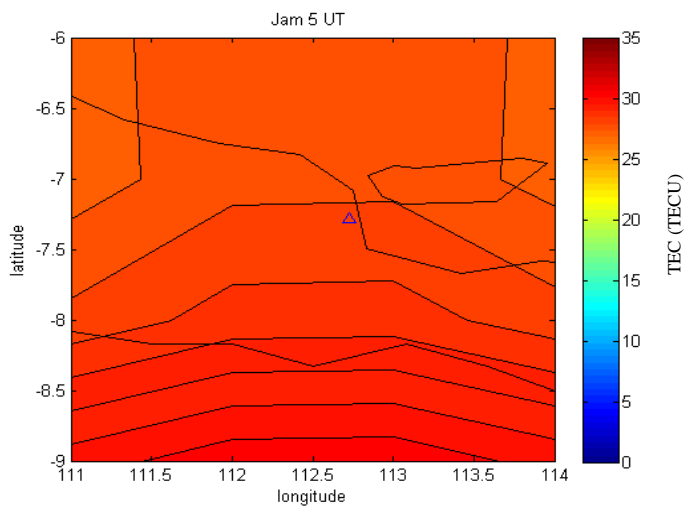
- Jam 3 UT



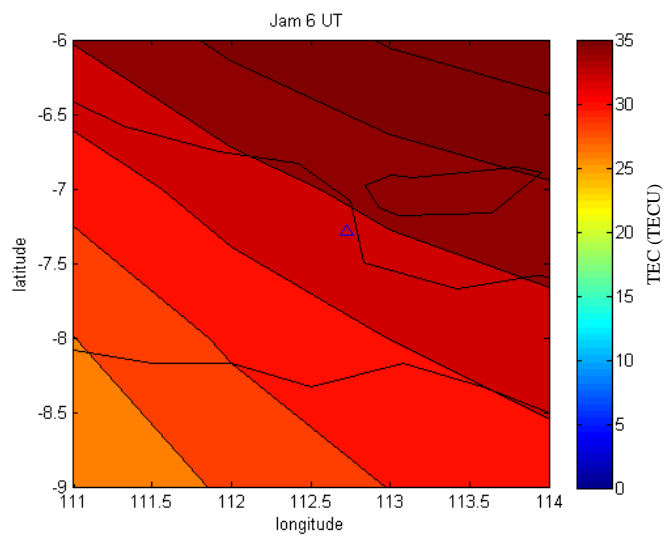
- Jam 4 UT



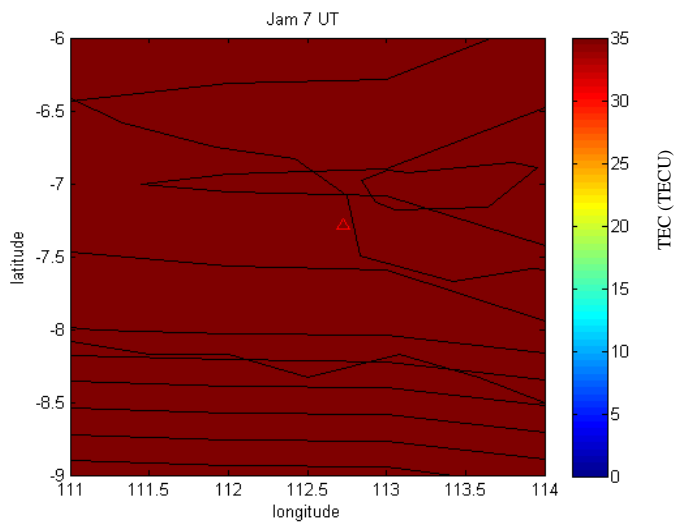
- Jam 5 UT



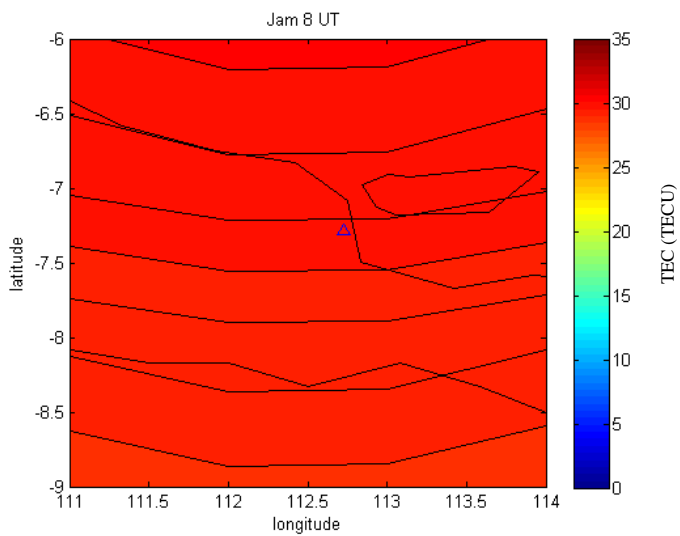
- Jam 6 UT



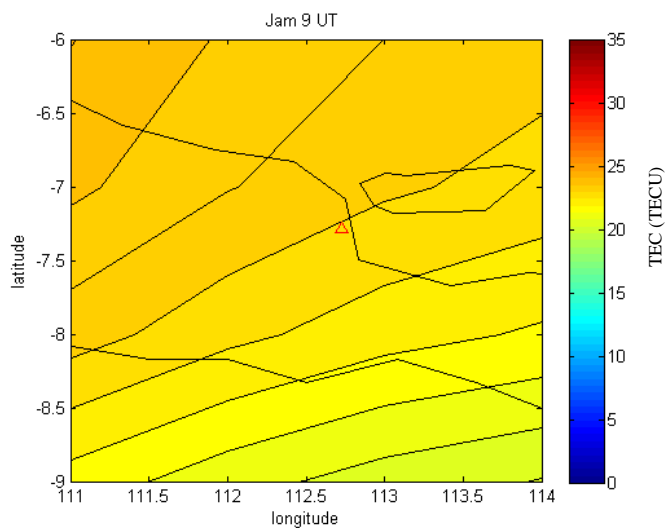
- Jam 7 UT



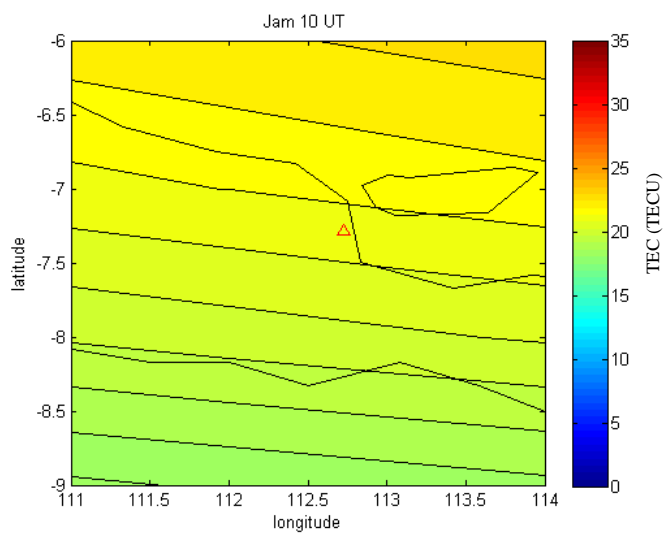
- Jam 8 UT



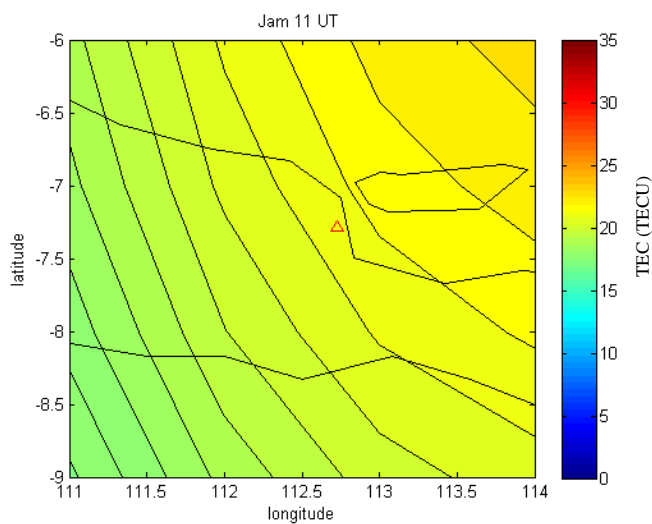
- Jam 9 UT



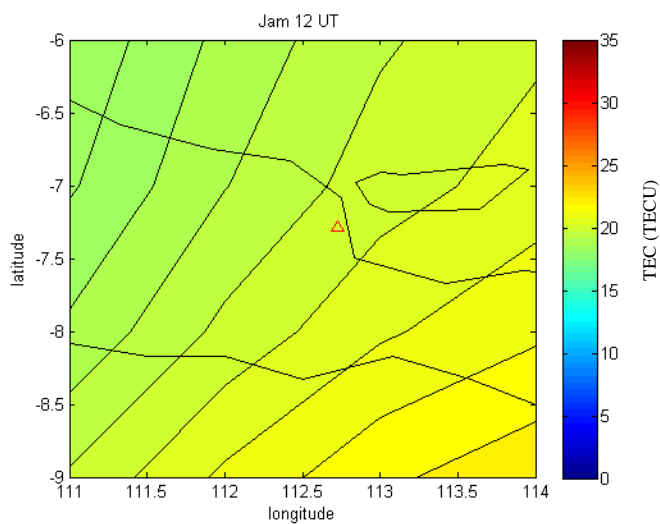
- Jam 10 UT



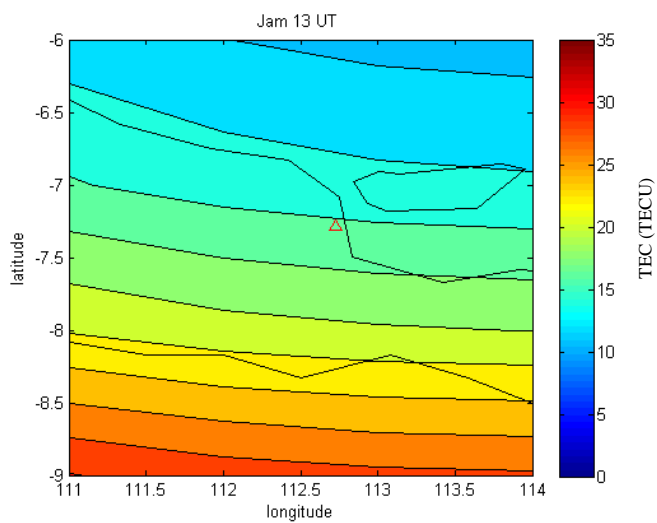
- Jam 11 UT



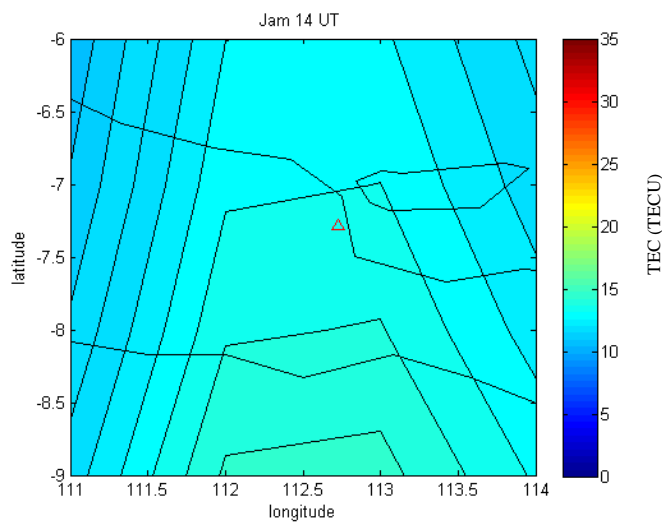
- Jam 12 UT



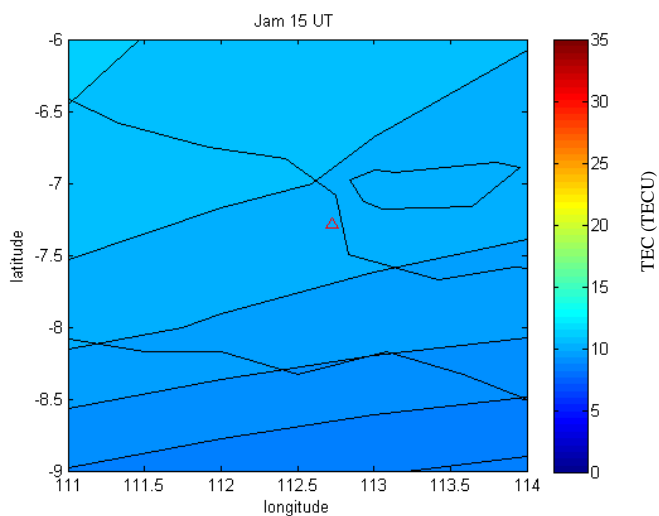
- Jam 13 UT



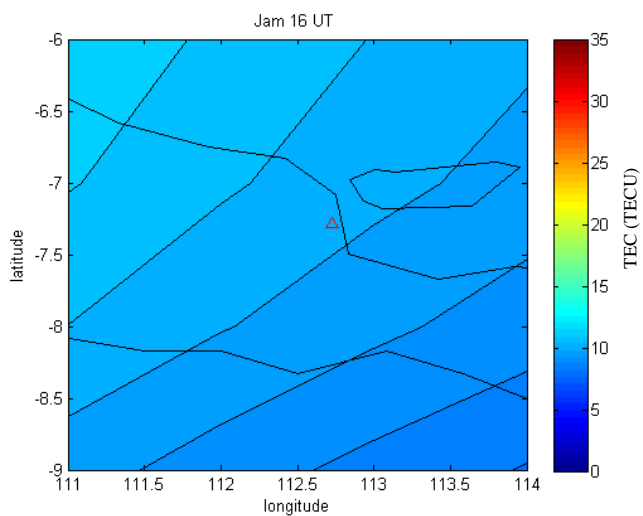
- Jam 14 UT



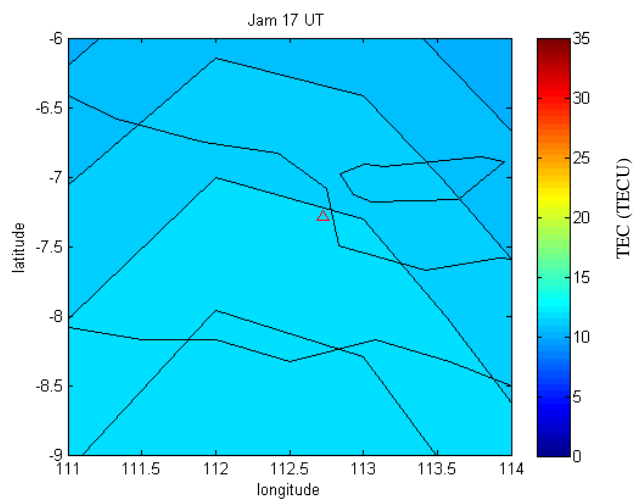
- Jam 15 UT



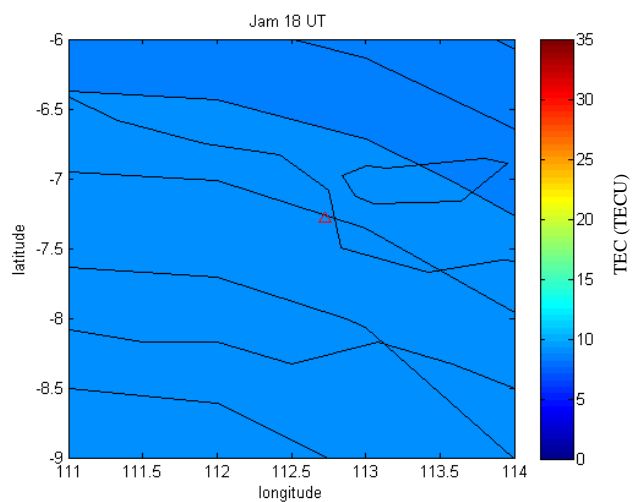
- Jam 16 UT



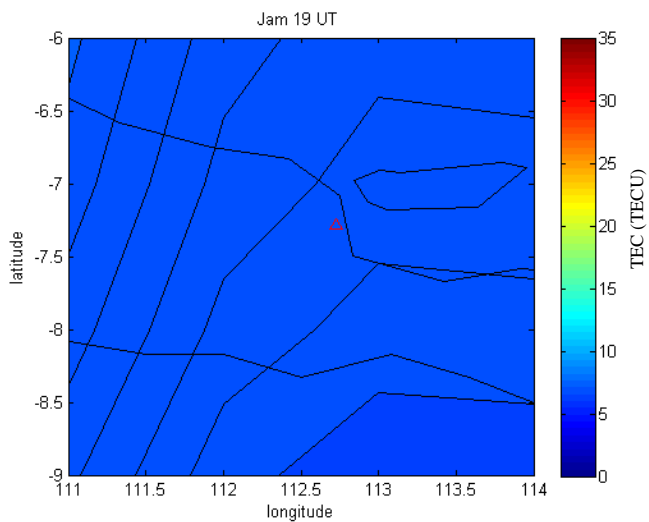
- Jam 17 UT



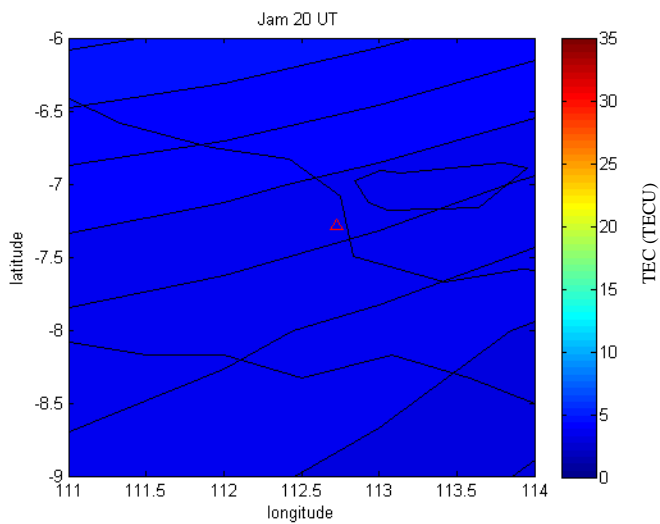
- Jam 18 UT



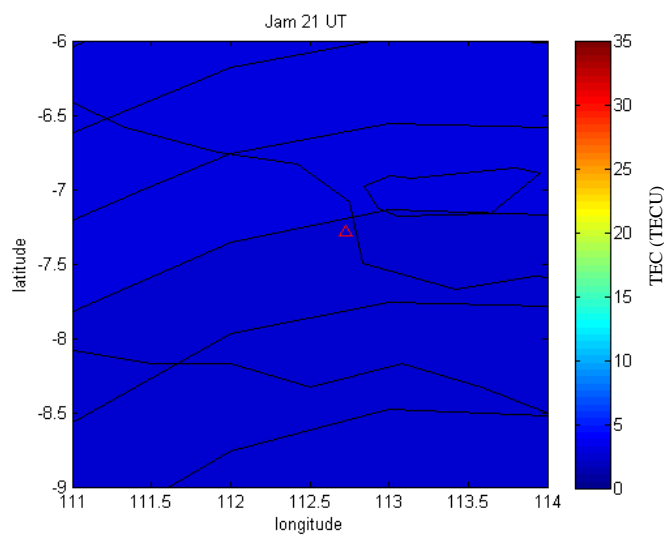
- Jam 19 UT



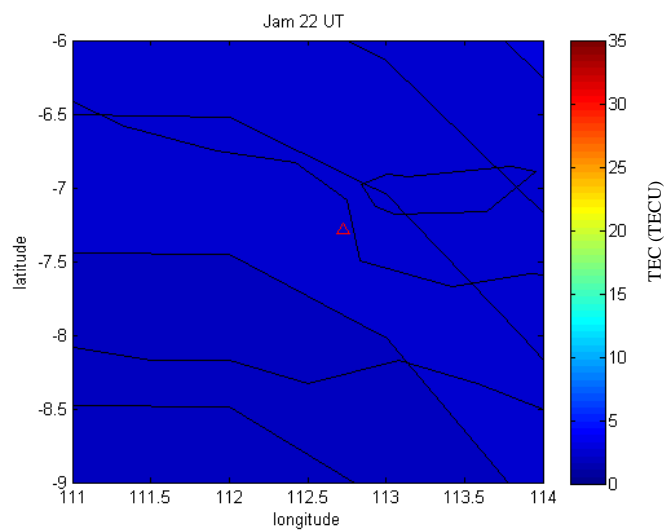
- Jam 20 UT



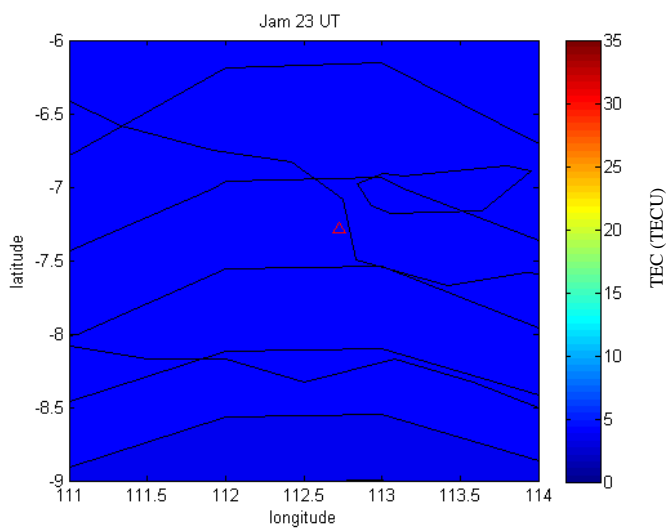
- Jam 21 UT



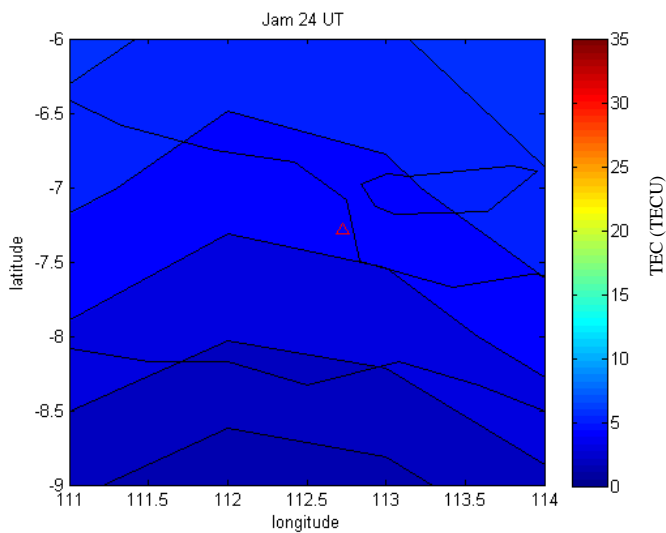
- Jam 22 UT



- Jam 23 UT



- Jam 24 UT



2. Program Perhitungan VTEC pada Matlab

```

=====
%jam 1 UT=====
wktj1=hasilbatas(1:602,1);
tecj1=hasilbatas(1:602,2);
vtecj1=hasilbatas(1:602,3);
linj1=hasilbatas(1:602,4);
bujj1=hasilbatas(1:602,5);
zj1=hasilbatas(1:602,6);
mj1=hasilbatas(1:602,7);
linj1_2=data_lin_VTEC_2(1:602,1);
linj1_3=data_lin_VTEC_3(1:602,1);
bujj1_2=data_buj_VTEC_2(1:602,1);

%matrksA
matl_1=1./mj1';           %mz dikali lintang ipp
matl_2=(1./mj1').*linj1';
matl_3=(1./mj1').*linj1_2';
matl_4=(1./mj1').*linj1_3';      %mz dikali bujur ipp
matl_5=(1./mj1').*bujj1';
matl_6=(1./mj1').*bujj1_2';
matl_7(1,1:length(matl_1))=-1;
matrksA1=[matl_1;matl_2;matl_3;matl_4;matl_5;matl_6];      %a0=nilai rata-rata

```

```

%matrix Y
matYl=vtecjl;

%dari VTEC
Y=vtecjl;
% matriks A
%Y = X*A;
mata2=linjl';
mata1(1,1:(length(mata2)))=1;
mata3=linjl_2';
mata4=linjl_3';
mata5=bujjl_1';
mata6=bujjl_2';
A=[mata1;mata2;mata3;mata4;mata5;mata6];

% X = A\Y;
matx_1 = A'\matYl;

%VTEC Surabaya jam 1
jl=-2.267;
kl=112,717;
vtec1_sby=matx_1(1) +matx_1(2)*jl+matx_1(3)*jl^2+matx_1(4)*jl^3+matx_1(5)*kl + matx_1(6)*kl^2

```

```

l18ut=-12:1:-2;
bl8ut=107:1:117;
vtecl_a=[];
for j=(-12:1:-2)
    vtecl_b=[];
    for k=(107:1:117)
        vtecl_c=matx_1(1) +matx_1(2)*j+matx_1(3)*j^2+matx_1(4)*j^3+matx_1(5)*k + matx_1(6)*k^2;
        vtecl_b=[vtecl_b;vtecl_c];
    end
    vtecl_a=[vtecl_a vtecl_b];
end
contourf(bl8ut,l18ut,vtecl_a)
hold on
load coast.mat
plot(long,lat,'black')
title(['Jam 1 UT '])
colorbar
x27 = [-2443857.50526178 5835258.07708669 -808826.380989501]
[lo,la,h] = cart2sph(x27(1,1),x27(1,2),x27(1,3));
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'^r','LineWidth',1);
hold on
xlabel('longitude')
ylabel('latitude')

```

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Probolingg, 26 Juli 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Harapan, SDN Sukabumi 2 Probolinggo, SMPN 1 Probolinggo, dan SMAN 1 Probolinggo. Setelah lulus dari SMA. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil jurusan Teknik Geomatika melalui jalur SNMPTN. Penulis aktif di organisasi intra kampus yaitu sebagai Staff Divisi Kewirausahaan HIMAGE-ITS periode 2015-2016 serta Sekretaris Divisi Kewirausahaan HIMAGE-ITS periode 2016-2017. Selain itu penulis juga aktif mengikuti keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD. Penulis memilih bidang keahlian GNSS, dengan Judul Tugas Akhir “Analisis Nilai *Total Electron Content (TEC) Near Real Time* Menggunakan Data GPS Dua Frekuensi (Studi Kasus: Surabaya)”.